МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ
Факультет Хімічних та біофармацевтичних технологій
Кафедра Прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон

Дипломна магістерська робота

на тему «Технологія одержання композиційних матеріалів на основі поліолефінів»

спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

Виконав: студент групи МгПП-21
Валентин ВАСИЛЕНКО

Керівник к.т.н. доц. Дмитро НОВАК

Рецензент д.т.н., доц. Олена ІЩЕНКО

Київ 2022

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет Хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра Прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон

Спеціальність 161 - Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Хімічні технології переробки полімерних та композиційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри прикладної екології, технології полімерів та хімічних волокон

_____ Вікторія_ПЛАВАН

“_____” _____2022 року

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Василенко Валентину Миколайовичу

Тема роботи Технологія одержання композиційних матеріалів на основі поліолефінів

1. **Науковий керівник роботи** Новак Дмитро к.т.н., доц, затверджені наказом вищого навчального закладу від 28 вересня 2022р №180-уч

2. Строк подання студентом роботи 4 листопада 2022р.

3. Вихідні дані до роботи: матеріали науково-технічної і патентної літератури, матеріали переддипломної практики.

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Огляд літературних джерел в галузі одержання поліетиленової плівки методом екструзії. 2. Об’єкти і методи дослідження. 3. Експериментальна частина. 4 Екологічна безпека. Висновки. Список використаних джерел.

5. Консультанти розділів дипломної магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Вступ	Дмитро НОВАК к.т.н.,доц.		
1. Огляд літератури	Дмитро НОВАК к.т.н.,доц.		
2. Методи досліджень	Дмитро НОВАК к.т.н.,доц.		
3.Експериментальна частина	Дмитро НОВАК к.т.н.,доц.		
4.Екологічна безпека	Вікторія ПЛАВАН д.т.н.,проф.		
Висновки	Дмитро НОВАК к.т.н.,доц.		

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	28.09.2022-05.10.2022	
2	1 Огляд літературних джерел в галузі одержання поліетиленової плівки методом екструзії	05.10.2022-10.10.2022	
3	2 Об’єкти і методи дослідження	10.10.2022-20.10.2022	
4	3 Експериментальна частина	20.10.2022-27.10.2022	
5	4 Екологічна безпека	27.10.2022-03.11.2022	
6	Висновки	03.11.2022-06.11.2022	
7	Оформлення магістерської роботи (чистовий варіант)	06.11.2022-10.11.2022	
8	Здача магістерської роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	11.11.2022	
9	Перевірка магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	15.11.2022	
10	Подання роботи у відділ магістратури для перевірки виконання додатку до індивідуального навчального плану (за 10 днів до захисту)	15.11.2022	
11	Подання роботи на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)	18.11.2022	

Студент _____ **Валентин ВАСИЛЕНКО**

Керівник роботи _____ **Дмитро НОВАК**

Директор НМЦУПФ _____ **Олена ГРИГОРЕВСЬКА**

АНОТАЦІЯ

Василенко Валентин. **Технологія одержання композиційних матеріалів на основі поліолефінів. –** Рукопис.

Дипломна магістерська робота за спеціальністю 161- Хімічна технологія та інженерія (Хімічні технології переробки полімерних та композиційних матеріалів) – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2022.

Дипломну магістерську роботу присвячено розробці технології та дослідженню композиції виготовлення поліетиленової плівки. Обґрунтовано вибір технології та її апаратурне оформлення. Розраховано кількість основного обладнання. Запропоновано внесення порошку з мушель устриць у композицію як один із шляхів вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища Одеської та Миколаївської областей раковинами молюсків. Отримано зразки поліетиленової плівок, наповнених порошком з мушель устриць 3, 5, 10, 15 %.

Було проведено випробування експериментальних зразків. Визначено температури плавлення зразків, показник текучості розплаву та щільність полімерів градієнтним методом. Оцінено ступінь кристалічності зразків за показником густини, міцність та відносне подовження при розриві.

Встановлено, що додавання порошку з мушель устриць до ПЕ композиції для виготовлення плівки підвищує температуру плавлення, щільність одержаної плівки та показник текучості розплаву. Відносне подовження виробу збільшується із зростанням вмісту порошку з мушель устриць.

В дипломному магістерському проекті передбачені заходи з екологічної безпеки та охорони праці. Розроблений генеральний план заводу та план цеху.

Ключові слова: поліетилен, екструзія, фізико-механічні характеристики, порошок з мушель устриць.

ABSTRACT

Vasylenko Valentyn. **Technology of production of composite materials based on polyolefins. -** The manuscript.

Master's degree work in specialty 161 - Chemical Technology and Engineering (Chemical Processing Technologies of Polymer and Composite Materials) - Kiev National University of Technology and Design, Kiev, 2022.

The graduate master's work is dedicated to the development of technology and the study of the composition for the manufacture of polyethylene membrane. The choice of technology and its hardware design are justified. The amount of basic equipment has been calculated. The introduction of powder from oyster shells into the composition is proposed as one of the ways to solve the problem of environmental pollution in Odessa and Nikolayev regions by mollusk shells. Samples of polyethylene membrane filled with oyster shells powder 3, 5, 10, 15% were obtained.

A prototype test was conducted. The melting points of the samples and the melt flow rate were determined, density of polymers by gradient method. The degree of crystallinity of the samples was estimated by the density index, strength, and elongation at break.

It was found that the addition of powder from oyster shells to the polypropylene composition for the manufacture of the membrane increases the melting point, fluidity and density of the resulting film. The relative elongation of the product increases with increasing oyster powder content.

The graduate master's project provides for environmental safety and labor protection. The master plan of the factory and the workshop plan have been developed.

Key words: polyethylene, extrusion, physical and mechanical characteristics, from oyster shells powder.

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Огляд літературних джерел в галузі одержання поліетиленової плівки методом екструзії

1.1 Загальна характеристика та властивості поліетилену

1.2 Синтез поліетилену

1.3 Марки поліетилену

2. Об'єкти і методи дослідження

2.1 Характеристика сировини та допоміжних матеріалів

3. Експериментальна частина

3.1 Технологія виробництва плівки

3.2 Опис технологічного процесу

3.3 Опис обладнання

3.4 Розрахунок основних показників обладнання

3.5 Дослідження основних характеристик поліетиленових композицій

4. Екологічна безпека

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ

ПЕ – поліетилен;

ПТР – показник текучості розплаву;

ВСТУП

Поліетилен - полімер аліфатичного органічного вуглеводня олефінового ряду етилену. Термопластичний насичений полімерний вуглеводень, твердий, безколірний, жирний на дотик матеріал. Легший за воду, горить повільно синюватим полум'ям без кіптяви. Є одним із найпоширеніших пластиків у світі, загальне річне виробництво станом на 2008 рік становило близько 80 мільйонів тон.

Стійкий до дії води, не реагує з лугами будь-якої концентрації, з розчинами нейтральних, кислих і основних солей, органічними і неорганічними кислотами, навіть концентрованою сірчаною кислотою, але розкладається при дії 50%-вої азотної кислоти при кімнатній температурі і під впливом рідкого чи газоподібного хлору і фтору. При температурі вище 70 °C він набухає та розчиняється у хлорованих і ароматичних вуглеводнях.

При кімнатній температурі не розчиняється і не набухає в жодному з відомих розчинників. При підвищеній температурі (80°C) розчинний в циклогексані і чоторихлористому вуглеці. Під високим тиском може бути розчинений в перегрітій до 180°C воді.

Модифікація поліетилену за допомогою введення в нього мінеральних наповнювачів, крейди та інших добавок, що модифікують дає можливість змінити характеристики базового матеріалу і надати композиціям на основі поліетилену такі позитивні властивості, як: висока міцність і жорсткість; відмінна еластичність; стійкість до впливу атмосферних факторів; негорючість і інші переваги.

Устриці вирощуються на березі Чорного моря на кордоні Миколаївської та Одеської областей, безпосередньо в природному Національного парку. Система, розроблена українською командою, дозволяє виростити устриці за 16 місяців. Після використання м’яса устриць мушлі викидаються, що забруднює навколишнє середовище.

Актуальність теми обумовлена розширенням асортименту композицій для виготовлення поліетиленових плівок та вирішенням екологічної проблеми забруднення мушлями устриць навколишнього середовища.

Метою роботи – розробка композиції поліетилену з додаванням порошку з мушель устриць для виготовлення плівки з наступним дослідженням запропонованої композиції.

Завдання:

- дослідити технологію виготовлення ПЕ композиційних матеріалів;
- розглянути існуючі композиції та марки поліетилену для виготовлення плівок;
- розробити композицію поліетилену з додаванням порошку з мушель устриць;
- дослідити фізико-механічні та реологічні властивості розроблених композицій.

Об'єкт дослідження – удосконалення технології одержання композиційних матеріалів на основі поліолефінів.

Предмет дослідження – ПЕ-композиції з додаванням подрібнених мушель устриць.

Методи дослідження. Фізико-механічні: міцність та відносне видовження при розриві, ПТР, густина розроблених композицій.

Наукова новизна. В роботі вперше застосовано ПЕ-композиції наповнені подрібненими мушлями молюсків.

Практична значимість. Запропоновано введення порошку з мушель устриць у поліетилен для виготовлення плівок, з метою вирішення екологічної проблеми забруднення навколишнього середовища відходами устричних ферм.

Публікації. В період виконання дипломної магістерської роботи опубліковано 1 статтю: Оцінка рівномірності розподілу графіту в ПВХ матриці. Advanced polymer materials and technologies: recent trends and current priorities: multi-authored monograph / edited by V. Levytskyi, V. Plavan, V. Skorokhoda, V. Khomenko. – Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2022. –P. 64-70.

Обсяг і структура магістерської роботи. Дипломна магістерська робота має вступ, експериментальну частину, висновки, список використаної літератури та додатків. Робота розміщена на сторінках, містить таблиць та рисунків.

1. Огляд літературних джерел в галузі одержання поліетиленових плівок методом екструзії

1.1 Загальна характеристика та властивості поліетилену

У 1898-1899 роках німецький хімік Ганс фон Пехманн абсолютно випадково відкрив поліетилен. Він нагрівав діазометан і під час реакції отримав з нього термопластичний полімер етилену. Однак це раптове досягнення не набуло широкого поширення.

Через десятиліття, в 1933 році, історія дала вченим другу спробу. Хіміки Фрідріх Тширнер і Юджин Бамбергер досліджували результат цієї хімічної реакції і виявили в ній довгі сполуки $–CH_2-$. Отриманий матеріал назвали аналогічним чином - "поліетилен". Концерн Imperial Chemical Industries розпочав промислове виробництво поліетилену цього ж року. На суміш етилену з бензальдегідом впливали високим тиском, поки 1939 року ще один хімік Майкл Перрін не синтезував поліетилен у сучасний спосіб. Було започатковано виробництво ПВТ (поліетилену високого тиску).

Через деякий час вчені стали проводити досліди для отримання такого каталізатора, який зміг би забезпечити полімеризацію етилену за середнього тиску і невисокої температури. Нарешті, 1953 року Карл Зіглер із Німеччини отримав поліпшену каталітичну систему. Через кілька років на її основі було випущено першу партію поліетиленової плівки.

Нині для виготовлення ПВД використовуються каталізатори Зіглера і Філліпса. А поліетиленова плівка, що стала найважливішим продуктом, одержуваним з цієї органічної сполуки, знайшла найширше застосування у всіх сферах нашого життя.

Поліетилен має цінне поєднанням властивостей, вивчення яких привертає увагу багатьох дослідників, що працюють як в області теорії макромолекулярної хімії і фізики, так і в області переробки і застосування полімерних матеріалів [3].

Вирішальний вплив на властивості поліетилену та виробів з нього робить молекулярна і надмолекулярна структура полімерного ланцюга.

Поліетилен характеризується більш складною молекулярною структурою, ніж більшість вироблених промисловістю полімерів, так як, крім хімічного складу мономера, середньої молекулярного ваги, на його структуру впливає просторове розташування бічних груп по відношенню до головного ланцюга. У технічному відношенні найбільш важливий і перспективний ізотактичний поліетилен. Залежно від типу і співвідношення присутніх стереоізомерів властивості поліетилену змінюються в широкому діапазоні .

Різні властивості полімеру залежать від величини молекулярної ваги в різному ступені. Так, при механічних навантаженнях, пов'язаних з малими деформаціями або малими швидкостями деформації, зі зміною молекулярної ваги (і то лише у полімерів з низькою молекулярною вагою) такі властивості полімеру, як межа плинності, модуль пружності або твердість, змінюються незначно. Механічні ж властивості полімеру, пов'язані з великими деформаціями, зі зміною молекулярної ваги змінюються набагато сильніше. Наприклад, показники межі міцності на розрив, відносне подовження при розриві, ударна в'язкість при вигині і розтягуванні зі зменшенням молекулярного ваги знижуються.

Найбільший вплив величина молекулярної ваги надає на в'язкість розчинів і розплавів поліетилену, так як під дією розчинників або в результаті теплового руху ланцюгів відбувається настільки значне зменшення інтенсивності міжмолекулярної взаємодії, що кожна макромолекула може являти собою більш-менш самостійну кінетичну одиницю .

При оцінці практичної придатності поліетилену для тієї чи іншої мети першорядне значення набувають його механічні властивості. Очевидно, що полімер з низьким модулем пружності, тобто з малою жорсткістю, не можна рекомендувати для виготовлення технічних деталей, що піддаються великим механічним навантаженням, і, навпаки, полімер з великою жорсткістю виявляється непридатним там, де матеріал повинен мати властивість поглинати коливання з відносно високою амплітудою .

Механічні властивості поліетилену визначаються його структурним складом. Атактична фракція в чистому вигляді має властивості аморфно-рідких

полімерів, ізотактичний - властивості високо кристалічних полімерів, а механічні властивості стереоблокполімеру займають проміжне положення. Промисловий поліетилен складається в основному з макромолекул ізотактичної будови, цим і обумовлені його високі механічні характеристики .

Важливим показником, що характеризує механічні властивості поліетилену, є залежність подовження від напруги яку визначають, піддаючи випробуваний зразок розтягування на розривної машині. При цьому випробуванні під напругою розуміють зусилля, що діє на одиницю площі первісного перетину зразка:

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

Залежність відносного подовження від напруги для стереоблочного поліетилену принципово відрізняється від такої для ізотактичного полімеру. Для досягнення значної деформації в даному випадку достатньо невеликого напруги, величина якого наростає плавно (без стрибків) аж до розриву випробуваного зразка. Після зняття напруги основна частина деформації швидко зникає. Подібна поведінка типова для каучук подібних полімерів .

Нарешті атактичний поліетилен виявляє сильну пластичну (тобто необоротну) деформацію при незначній напрузівеличина якого майже не змінюється до руйнування зразка.

Поведінка поліетилену звичайних марок при випробуванні на розтяг визначається вмістом кристалічного полімеру. Зі збільшенням вмісту неізотактичних фракцій початковий модуль пружності і межа плинності знижуються, відносне подовження при розриві, як правило, зростає, а межа міцності при розтягуванні дещо падає [6].

Зі зміною величини молекулярної ваги дещо змінюється форма кривої «напруга-відносне подовження» для полімерів з однаковим ступенем ізотактичності. Межа плинності зі зменшенням молекулярної ваги підвищується, а відносне подовження при розриві знижується, що пов'язано з підвищенням ступеня кристалічності.

Поліетилен, подібно до більшості синтетичних полімерів, є прекрасним діелектриком. Завдяки незначному водопоглиненню його електроізоляційні властивості практично не змінюються навіть після тривалої витримки у воді [6,7].

Поведінка поліетилену як діелектрика в змінному електричному полі багато в чому схожа з поведінкою полімеру при впливі на нього динамічного механічного навантаження. Індуковані диполі ланок ланцюгів орієнтуються по миттєвому напрямку поля, в більшій чи меншій мірі відстаючи при цьому від збудливої сили. Діелектрична проникність поліетилену майже не залежить від частоти поля і температури.

Різниця між значеннями діелектричної проникності ізотактичного (е = 2,28) і атактичного (е = 2,16) полімерів не така велика, щоб за цим показником можна було, наприклад, оцінювати вміст атактичних фракцій в поліетилені .

Поверхня поліетиленових виробів відрізняється гарною зносостійкістю, близькою до зносостійкості поліамідів. Стійкість до стирання підвищується зі збільшенням молекулярної ваги і майже не залежить від стерео ізомерного складу поліетилену.

Антифрикційні властивості при контакті поліетилену зі сталлю близькі до аналогічних властивостям нейлону в сухому стані. При застосуванні мастила коефіцієнт тертя поліетилену знижується в меншій мірі, ніж в разі нейлону.

Неполярний характер поліетилену обумовлює погану адгезію клеїв до його поверхні. Тому в даний час немає надійних методів склеювання поліетиленових деталей між собою і з іншими матеріалами [10].

Ступінь прозорості виробів з поліетилену визначається насамперед розміром сферолітів, на яких відбувається розсіювання світла. Якщо вдається перешкодити утворенню великих сферолітів шляхом швидкого охолодження тонкої плівки, то виходить прозорий виріб, який навіть в поляризаційному мікроскопі не може виявити подвійного променезаломлення, типового для сферолітної структури. Чим менше швидкість охолодження - а вона при поганій теплопровідності поліетилену в значній мірі залежить також і від товщини виробу, - тим більші сфероліти і нижче прозорість виробу. На прозорість

впливають і інші фактори, від яких залежать розміри сферолітів, зокрема величина молекулярної ваги і стерео ізомерний склад поліетилену.

Поліетилен завдяки своїй парафінової структурі має високу стійкість до дії різних хімічних реагентів, навіть у високих концентраціях. При нормальній температурі ізотактичний поліетилен дуже добре протистоїть дії органічних розчинників навіть при тривалому перебуванні в них. Однак будь-яке порушення правильності структури ланцюгів, що виявляється в зменшенні ступеня кристалічності поліетилену, викликає зниження стійкості до розчинників. Цю особливість поліетилену Пеххман використовував для визначення вмісту в ньому атактичної, стереоблочної і ізотактичної структур. Спирти, кетони, складні і прості ефіри мають відносно малу спорідненість відносно парафінового ланцюга і тому не здатні сольватувати ланцюги, міцно пов'язані в кристалічних ділянках. Однак вони в більшій чи меншій мірі можуть викликати набухання або навіть розчинення атактичних структур, особливо при високих температурах. Вуглеводні зважаючи на більшу спорідненості до поліетилену розчиняють атактичні фракції вже при нормальній температурі. Цікаве відхилення від такої закономірності виявляють зріджені пропан і пропілен, розчинна здатність яких в області температур від -10 до -20°С вище, ніж при нормальній температурі. У міру підвищення температури розчинна здатність вищих вуглеводнів і їх хлорпохідних зростає, так що ними можна екстрагувати і частково кристалічні стереоблокполімери. Найбільш ефективними розчинниками є ароматні і гідроароматичні вуглеводні, в яких при підвищених температурах розчиняється ізотактичний поліетилену .

З атмосферних впливів найсильнішим виявляється дія кисню, активоване сонячним світлом.

Чистий поліетилен атактичної та ізотактичної структури фізіологічно не шкідливий. Однак необхідно мати на увазі, що промисловий поліетилен містить цілий ряд домішок, про дію яких на організм поки відомо дуже мало. Тому потрібна ретельна перевірка фізіологічної нешкідливості цих речовин, перш за все залишків каталізатора, а також стабілізаторів і кольорових пігментів.

Хімічна модифікація поліетилену, тобто спрямована зміна його фізичних, механічних або хімічних властивостей введенням в макромолекулу нових функціональних груп, зшиванням або сополімеризацією, представляє великий інтерес з наукової та практичної точки зору.

Для правильного застосування поліетилену в різних областях дуже важливо знати процеси його деструкції. При термічній деструкції поліетилену в інертній атмосфері або вакуумі знижується молекулярна вага і утворюються летючі продукти [6,10].

Зниження молекулярної ваги полімеру залежить від температури і тривалості піролізу.

Швидкість утворення летючих продуктів також є функцією температури. Швидкість термічної деструкції поліетилену не залежить від його молекулярного ваги.

В процесі деструкції зменшується кристалічність поліетилену. На відміну від інших полімерів, наприклад політетрафторетилену або поліметилметакрилату, при піролізі поліетилену виходить лише незначна кількість мономерного продукту, що пояснюється низькою енергією активації ізомеризації макрорадикалу, що утворився при термічній деструкції. Так, при перетворенні 50% полімеру в газоподібні продукти при 387 ° С утворюється всього лише 0,2% мономера. Газоподібні продукти складаються в основному з 2-метилпропіл-1, пентена-1 і пентена-2. При розкладанні нерозгалуженого поліетилену газоподібні продукти утворюються набагато швидше, ніж в разі поліетилену розгалуженої будови [10,11].

Вплив різних видів випромінювання високої енергії (гамма-промені, рентгенівські промені, електрони, нейтрони) теоретично вивчено добре, відомості ж про практичне застосування опроміненого поліетилену значно обмежені, ніж, наприклад, про застосування поліпропілену.

Поліетилен має структуру, проміжну між поліпропіленом і поліізобутиленом, чим і зумовлена його поведінка при дії випромінювань. Якщо при опроміненні поліпропілену переважаючим процесом є зшивання

(структурування), а в разі поліізобутилену - деструкція головного ланцюга, то при опроміненні поліетилену процеси зшивання і деструкції знаходяться в співвідношенні 0,75-0,8:1 , внаслідок чого одночасно утворюються нерозчинний гель і низькомолекулярний поліетилену .

Отримання зшитого продукту прямим опроміненням поліетилену, наприклад в присутності сенсибілізатора хлорбензолу, в умовах нормальної температури економічно невигідно внаслідок згаданого вище співвідношення процесів зшивання і деструкції (0,75-0,8:1). Ефективне зшивання досягається при 100-125 ° С. У разі присутності в поліетиленові поліфункціональних мономерів зшитий полімер вдається отримати при значно менших дозах опромінення, при чому процес деструкції повністю пригнічується. Як поліфункціональних мономерів придатні моно- (ди-, три-, гетри) етиленглікольдиметакрилат, алілакрилат, алілметакрилат (вимагають опромінення потужністю 0,25 Мрад або 20% витрати мономера), вінілметакрилат (1 Мрад), дивінілбензол. Такий же ефект зшивання досягається при опроміненні в присутності сірки, селену, телуру і деяких їхніх сполук, а також в результаті термообробки при 180°С попередньо опроміненого поліетилену .

Добре відомо, що шкідливий вплив на механічні властивості поліетилену надає ультрафіолетова частина спектра сонячного світла з діапазоном хвиль 2800-4000 А. Під дією кисню поліетилен піддається фотохімічній деструкції, тому його необхідно стабілізувати. При опроміненні поліетилену УФ-світлом у вакуумі або інертній атмосфері одночасно із зшиванням протікає деструкція. У присутності сенсибілізаторів, наприклад бензофенон, поліхлорованих бензолів, нафталінів і монохлористої сірки (для пропілену вона найбільш ефективна), частка зшитого продукту зростає; так, при застосуванні монохлористої сірки вихід гелю досягає 80% від ваги опроміненого поліетилену.

Вільні радикали, що утворюються в поліетиленові при радіаційному або фотохімічному опроміненні, з успіхом використовуються для отримання великої гами прищеплених кополімерів. Радіаційним опроміненням каталізуються також

різні радикальні реакції поліетилену, зокрема хлорсульфонування і сульфокислення .

Половина вуглецевих атомів в поліетиленового ланцюга пов'язана з метильними групами, які надають активуючий вплив на атом водню, з'єднаний з третинним атомом вуглецю. Тому атом водню у третинного атома вуглецю виявляється більш реакційно здатним, ніж водень метиленової або метильної групи, внаслідок чого при підвищених температурах не стабілізований поліпропілен окислюється довше, ніж поліетилен.

Різна реакційна здатність зв'язків С-Н в поліетилені проявляється при радикальних реакціях передачі ланцюга.

Для отримання щеплених полімерів з ізотактичного поліетилену і сополімерів пропілену з етиленом запропонований також процес пероксидації повітрям при температурі 70°С і тиску 3 кгс/см^2, причому концентрація перекисів після закінчення 5 год досягає 0,03 ваг.% [14].

Окислювальна деструкція поліетилену, призначеного для переробки в волокно, може бути здійснена при 145°С і підвищеному тиску повітря в суспензії порошкоподібного полімеру в метанолі, а також в розчинах або суспензіях полі-α-олефінів (отриманих нагріванням з водяною парою під тиском).

В результаті глибокої окисної деструкції ізотактичного або аморфного поліетилену отримують воскоподібні речовини. Окислювальна деструкція проходить швидше в присутності дитретбутилперекису при 160°С, причому воскоподібні емульсії можна застосовувати в лакофарбової промисловості. Полімер з низькою молекулярною вагою (в межах 900-30000) і температурою плавлення не нижче 100°С можна отримати при термообробці поліетилену при 310-480°С протягом 30 хв. Відомий процес окислення полі-α-олефінів, диспергованих у водній фазі, при тиску повітря до 20 кгс/см^2 і температурі 90°С [14].

При окисленні полімерів озоном пероксиди починають утворюватися вже при кімнатній температурі. Озон, діючи як ініціатор окислення, значно прискорює окисний процес. Ініціювання дії озону при окисленні поліетилену здійснюється

через полімерні пероксиди [R-0-0-R] з малим періодом життя, які на перших стадіях процесу викликають також і тимчасове, нестійке зшивання полімеру.

Характер кривої накопичення перекисів під час окислення озоном атактичного поліетилену вказує на те, що в дослідженому діапазоні температур 0-60°С можна досягти лише обмеженій концентрації перекисів. Значне прискорення процесу окислення озоном практично виключає наявність індукційного періоду. На кінетику накопичення перекисів істотно впливає характер поверхні поліетилену .

Для пероксидації порошкоподібного ізотактичного поліетилену при 40-100°С або волокон з нього використовується суміш повітря і летючого органічного перекису.

Для поверхневого окислення плівок можна застосовувати різні окислювачі, такі, як $K_2Cr_2O_7$, $KMn0_4$ в розчині сірчаної кислоти. Перекисні групи утворюються і при окисленні поліетилену азотною кислотою або двоокисом азоту. Поліетилену в присутності кисню окислюється при будь-якому фізичному впливі: як при механічної деструкції під дією ультразвуку або випромінювання високої енергії, так і під впливом електричної дуги або коронного розряду [16].

Модифікації поліетилену

Модифікація поліетилену за допомогою введення в нього мінеральних наповнювачів, скловолокна та інших добавок, що модифікують дає можливість змінити характеристики базового матеріалу і надати композиціям на основі ПЕ такі позитивні властивості, як:

- висока міцність і жорсткість;
- відмінна еластичність;
- стійкість до впливу атмосферних факторів;
- негорючість і інші переваги.

При створенні композиції головною метою є збереження споживчих властивостей полімерної матриці з одночасним впровадженням додаткових характеристик . Іншими словами - в композиції використовуються гідності базового матеріалу зі зведенням до мінімуму його недоліків:

➔ Мінералонаповнений поліетилен. Введення мінеральних наповнювачів (тальку або карбонату кальцію) в концентрації 10-65% дає можливість збільшити міцності вихідних полімерів, підняти їх теплостійкість і поліпшити зовнішній вигляд готових виробів.

➔ Склонаповнений поліетилен. Введення скловолокна в концентрації 10-50% дає можливість збільшити міцності вихідного полімеру і підвищити пружність при вигині.

➔ Еластофікований поліетилен. Введення еластомерів в полімерну матрицю дає можливість знизити модуль пружності при вигині, в порівнянні з гомополімерами, а також підвищити морозостійкість матеріалу.

➔ Важкогорючий поліетилен. Введення антипіренів дає можливість значно підвищити стійкість матеріалу до горіння і віднести його до класу самозатухаючих.

1.2 Синтез поліетилену

У промисловості поліетилену проводиться шляхом полімеризації пропілену при низькому і середньому тиску в масі або розчині. Реакція в масі здійснюється при 70-80°С і тиску 2,7-3,0 МПа. Відсутність розчинника істотно спрощує виділення і сушку поліетилену .

Полімеризація в розчині проводиться при вмісті поліетилену в розчиннику 300-400 г/л. Після відділення на центрифузі, поліетилен відмивається спиртом або сумішшю спирту і води від залишків каталізатора. Далі ПЕ сушиться, змішується з барвниками, стабілізаторами і гранулюється. Випускається поліетилен, як правило, у вигляді гранул діаметром 2-5 мм.

Поліетилен належить до полімерів, вироби з яких у розвинених країнах набувають усе більшого поширення. Це пов'язано з освоєнням виробництва поліетилену шляхом піролізу і необхідність задоволення потреб у цьому полімері. Полімеризація пропілену може відбуватися за катіонним, аніонним, радикальним механізмом, причому за радикальним проходить із недостатнім перетворенням [16]. Унаслідок катіонної полімеризації при високих температурах утворюються

димери та тримери, які використовуються для виробництва детергентів (миючих засобів). При низьких температурах (223–238К) у присутності каталізаторів Фріделя–Крафтса утворюється аморфний поліетилен, який нагадує поліізобутилен. Такі полімери застосовуються для покращення в'язкості мастил. Найкращі результати полімеризації пропілену досягнуті при використанні каталізатору Циглера–Натта. Унаслідок координаційної полімеризації одержують кристалічний поліетилен, який має ізотактичну будову та хороші властивості. Цей метод реалізується в промисловому масштабі. Уперше ізотактичний поліетилен був одержаний у промисловості в 1957 р. в Італії на фірмі "Montekatini".

Схема виробництва поліетилену

Полімеризацію пропілену найчастіше проводять у розчині при 323–373К (50–100°С). Процес полімеризації пропілену в присутності каталізатору Циглера–Натта триває 0,5–10 год. Як розчинник у процесі полімеризації застосовують насичені аліфатичні вуглеводні (н-гексан, н-гептан). У таких системах по мірі протікання полімеризації з розчину виділяється ізотактичний поліетилен, у той час як атактичний продукт залишається в розчині [17].

Недавно запропоновані нові типи досить активних каталізаторів, що містять $TiCl_3$, модифікованих простими ефірами, тіоефірами, амідом фосфорної кислоти (каталізатор другої генерації) [18]. Розроблено також досить активні каталізатори третьої генерації, які отримують шляхом нанесення $TiCl_4$ на $MgCl_2$, що модифіковані сполуками типу донорів електронів: ефіри бензойної кислоти та силоксанами. Це дало змогу розробити нові способи полімеризації пропілену в розчині, у масі, у газовій фазі. Використання більш ефективних каталізаторів для проведення полімеризації в розчині дало змогу відмовитися від стадії промивки полімеру у зв'язку з невисоким вмістом його в реакційній масі. Крім того, у цьому процесі відсутні промивні води, що є важливим при створенні нових екологічно чистих процесів.

Полімеризація в рідкому полімері

Зараз багато фірм орієнтується на полімеризацію пропілену в масі. Цей метод характеризується великим ступенем полімеризації, можливістю

достатнього обміну теплотою, однаковою концентрацією каталізатора, у цілому реакторі та незначними енерговитратами [19]. Недоліком способу є необхідність відділення та повернення у процес непрореагованого мономеру, кількість якого становить 60 %. Полімеризацію пропілену в масі проводять при 343–353К (58–80°С) під тиском 2,7–3,0 МПа. У цьому процесі концентрація мономеру в кілька разів більша, ніж під час полімеризації в розчині, що дає змогу зменшити кількість каталізатора. Використання каталізатору другого покоління (процес SUMIMOTO–Японія) не виключає необхідності на конкретній стадії відмивання залишків каталізатора із полімеру та відділення атактичного поліетилену. Більш перспективним є каталізатор третього покоління (фірма El Pasa Polyolefins). При проведенні полімеризації пропілену за цим методом відсутні стадії відмивки каталізатора, а також екстракції атактичного поліетилену. Це пов'язано з високою стереоспецифічністю реакції [19]. Ступінь кристалічного полімеру, одержаного цим методом, становить більше, ніж 95 %, а вихід 5–7 кг на 1 г каталізатору.

Полімеризація в газовій фазі

Полімеризація пропілену в газовій фазі є більш простим методом і містить значно менше число стадій, ніж полімеризація в рідкій фазі. При використанні більш активних, стереоспецифічних каталізаторів вміст атактичного поліетилену в полімері є настільки малим, що немає потреби в його відділенні, втрати полімеру є незначними, а завдяки відсутності стадії регенерації розчинника цей метод можна віднести до екологічно чистих процесів [20]. Метод дає змогу отримувати поліетилен кількох видів. Для різних методів проведення полімеризації в газовій фазі використовують різні конструкції апаратів. На сьогодні відомі три основних типи реакторів: із "киплячим" шаром, вертикальні й горизонтальні з механічними мішалками. Прикладом полімеризації в газовій фазі є метод, розроблений фірмою BASF (Німеччина). Процес проводять у вертикальному реакторі з механічним перемішуванням при 70–75°С і тиску 2,5 МПа. Вихід поліетилену при цьому становить 4–5 кг на 1 г каталізатору Температуру реакції регулюють шляхом подачі пропілену до нижньої частини реактора і подають на дегазацію. Пропілен, що не прореагував, становить 85% від

усього мономеру, направляють на випарну колону, у якій і відділяють від нього пропан. Після очистки пропілен повертають у процес. Полімер подають у сушарку, яка працює за принципом киплячого шару, і висушують у атмосфері азоту при 373 К (100°С).

Вплив умов проведення реакції на процес полімеризації

Основні параметри процесу полімеризації, а саме загальна швидкість процесу, стереоізомерний склад полімеру і його молекулярна вага, залежать від хімічної і фізичної природи каталізатора, полімеризації середовища і фізичних умов, а також ступеня чистоти окремих компонентів системи і їх концентрації [20].

Лінійний поліетилен на таких каталізаторах може утворюватися як в гомогенної, так і в гетерогенної фазі, оскільки він не має просторових ізомерів. Для отримання ж ізотактичного поліетилену воліють застосовувати тверді хлориди титану (перш за все $TiCl_3$) в поєднанні з алюмінієорганічним компонентом. Про роль твердої фази говорить той факт, що в присутності каталітичного комплексу металоорганічні з'єднання з перехідним металом, адсорбованого на аморфному носії, при полімеризації пропілену утворюється атактичний аморфний продукт. Той же комплекс, адсорбований на кристалічному носії (трихлористий титан), дозволяє отримати ізотактичний полімер. Слід зазначити, що самої по собі регулярності решітки носія ще недостатньо для того, щоб каталізатор набув високої стереоспецифічності; носій повинен також відповідати певним стеричним умовам, пов'язаним з величиною його іонів і відстанню між ними. Так, в присутності трибромідом або трийодистого титану атактичного полімеру утворюється більше, ніж при застосуванні трихлористого титану.

Льюісовский характер обох каталітичних компонентів зумовлює і вибір середовища. Найбільш вигідним середовищем вважаються інертні вуглеводні. Оскільки трихлористий титан діє як сильний адсорбент, найкращими є аліфатичні вуглеводні (гептан, гексан, пропан і так далі), які сорбуються в меншій мірі, ніж ароматичні [20].

Сополімеризація етилену

Поряд з вивченням фізичних і механічних властивостей поліпропілену увагу дослідників в усьому світі привертає сополімеризація пропілену з іншими мономерами з метою модифікації властивостей продукту. До кола проблем, пов'язаних з сополімеризацією на стереоспецифічні каталізаторах, крім вивчення складу сополімеру і змісту вихідних мономерів, входить також вивчення просторової будови продуктів, що утворюються, з урахуванням застосованої комбінації мономерів і каталітичної системи [21].

1.3 Марки поліетилену

Звичайне позначення поліетилену на ринку - PE, але можуть зустрічатися і інші позначення:

- ПЕНЩ або ПЕВТ або LDPE або PEBD або PELD (поліетилен низької щільності, поліетилен високого тиску)
- ПЕВЩ або ПЕНТ або HDPE або PEHD (поліетилен високої щільності, поліетилен низького тиску)
- ПЕСЩ або MDPE або PEMD (поліетилен середньої щільності)
- ULDPE (поліетилен наднизької щільності)
- VLDPE (поліетилен дуже низької щільності)
- ЛПЕНЩ або LLDPE або PELLD (лінійний поліетилен низької щільності)
- LMDPE (лінійний поліетилен середньої щільності)
- HMWPE або PEHMW або VHMWPE (високомолекулярний поліетилен)
- HMWHDPE (високомолекулярний поліетилен високої щільності)
- PEUHMW або UHMWPE (надвисокомолекулярний поліетилен)
- UHMWHDPE (ультрависокомолекулярний поліетилен високої щільності)
- PEX або XLPE (зшитий поліетилен)

- PEC або CPE (хлорований поліетилен)
- EPE (поліетилен, що спінюється)
- mLLDPE або MPE (металоценовий лінійний поліетилен низької щільності)

Умовне позначення вітчизняного суспензійного поліетилену низького тиску складається з назви матеріалу "поліетилен", восьми цифр, що характеризують конкретну марку, і позначення стандарту, відповідно до якого поліетилен виготовлений.

Перша цифра 2 вказує на те, що процес полімеризації етилену протікає на комплексних металоорганічних каталізаторах за низького тиску. Дві наступні цифри позначають порядковий номер базової марки. Четверта цифра вказує на ступінь гомогенізації поліетилену. Поліетилен низького тиску піддається усередненню холодним змішуванням, яке позначається цифрою 0. П'ята цифра умовно визначає групу щільності поліетилену:

6 - 0,931-0,939 г/см3;

7 - 0,940-0,947 г/см3;

8 - 0,948-0,959 г/см3;

9 - 0,960-0,970 г/см3.

При визначенні групи густини беруть середнє значення густини цієї марки. Наступні цифри, написані через тире, вказують десятикратне середнє значення показника плинності розплаву цієї марки.

Приклад позначення базової марки суспензійного поліетилену низького тиску порядкового номера марки 10, усередненого холодним змішанням, густиною 0,948-0,959 г/см3 і середнім показником плинності розплаву 7,5 г/10 хв:

Поліетилен 21008-075.

Позначення композиції поліетилену низького тиску, що не містить добавки барвника, складається з найменування матеріалу "поліетилен", трьох перших цифр позначення базової марки, номера рецептури добавки, написаного через тире, і позначення стандарту, згідно з яким поліетилен виготовлений.

Приклад позначення композиції суспензійного поліетилену низького тиску базової марки 21008-075 з добавками відповідно до рецептури 04:

Поліетилен 210-04.

Приклад позначення композиції газофазного поліетилену низького тиску марки 271 з добавками відповідно до рецептури 70:

Поліетилен 271-70.

Позначення композиції поліетилену низького тиску з добавкою барвника складається з найменування матеріалу "поліетилен", трьох перших цифр базової марки, написаного через тире номера рецептури добавки (за її наявності), написаного через кому найменування кольору, тризначного числа, що позначає рецептуру забарвлення, та позначення стандарту, відповідно до якого поліетилен виготовлений.

Приклад позначення базової марки поліетилену низького тиску 21008-075 і композиції 210-04 на її основі, пофарбованих у червоний колір за рецептурою 101:

Поліетилен 210, червоний рец. 101,

Поліетилен 210-04, червоний рец. 101.

Базові марки суспензійного поліетилену низького тиску: 20108-001; 20208-002; 20308-005; 20408-007; 20508-007; 20608-012; 20708-016; 20808-024; 20908-040; 21008-075. Базові марки газофазного поліетилену низького тиску: 271-70; 271-82; 271-83; 273-71; 273-73; 273-79; 273-80; 273-81; 276-73; 276-75; 276-83; 276-84; 276-85; 276-95; 277-73; 277-75; 277-83; 277-84; 277-85; 277-95.

Умовне позначення вітчизняного поліетилену високого тиску складається з назви "поліетилен", восьми цифр, сорту і позначення стандарту, відповідно до якого поліетилен виготовлений.

Перша цифра - 1 вказує на те, що процес полімеризації етилену протікає за високого тиску в трубчастих реакторах або реакторах із перемішувальним пристроєм із застосуванням ініціаторів радикального типу.

Дві наступні цифри позначають порядковий номер базової марки. Четверта цифра вказує на ступінь гомогенізації поліетилену:

0 - без гомогенізації в розплаві;

1 - гомогенізований у розплаві.

П'ята цифра умовно визначає групу щільності поліетилену, г/см3.

1 - 0,900-0,909

2 - 0,910-0,916

3 - 0,917-0,921

4 - 0,922-0,926

5 - 0,927-0,930

6 - 0,931-0,939

Під час визначення групи щільності беруть її номінальне значення для цієї марки.

Наступні цифри, написані через тире, вказують десятикратне значення показника плинності розплаву.

Приклад позначення поліетилену високого тиску порядкового номера марки 15, без гомогенізації в розплаві, густиною 0,917-0,921 г/см3 і номінальним значенням показника плинності розплаву 7 г/10 хв 1-го сорту:

Поліетилен 11503-070, сорт 1

Позначення композицій поліетилену високого тиску складається з найменування матеріалу "поліетилен", трьох перших цифр позначення базової марки, номера рецептури добавки, написаного через тире, кольору і рецептури фарбування, ґатунку і позначення стандарту, згідно з яким виготовлено поліетилен.

Приклад позначення композиції поліетилену високого тиску базової марки 10204-003 з добавками відповідно до рецептури 03, 1-го сорту:

Поліетилен 102-03, сорт 1

У разі забарвлених композицій поліетилену високого тиску до позначення додають колір і тризначне число, що позначає рецептуру забарвлення.

Приклад позначення композиції поліетилену високого тиску базової марки 10204-003, пофарбованої в рожевий колір за рецептурою 104, 1-го сорту:

Поліетилен 102, рожевий 104, сорт 1

У позначенні поліетилену високого тиску, призначеного для виготовлення плівок різного призначення, виробів, що контактують із харчовими продуктами, питною водою, косметичними та лікарськими препаратами, іграшок, а також поліетилену, який підлягає тривалому зберіганню, додатково вказують відповідне призначення.

Базові марки поліетилену високого тиску, отриманого в реакторах з перемішувальним пристроєм: 10204-003; 10604-007; 10703-020; 10803-020; 11304-040; 11503-070; 12003-200; 12103-200.

Базові марки поліетилену високого тиску, отриманого в реакторах трубчастого типу: 15003-002; 15303-003; 15503-004; 16305-005; 17603-006; 17504-006; 16005-008; 17703-010; 16603-011; 17803-015; 15803-020; 16204-020; 16405-020; 18003-030; 18103-035; 16904-040; 18203-055; 16803-070; 18303-120; 17403-200; 18404-200.

У кабельній промисловості використовуються композиції на основі поліетилену високого тиску (низької густини) і низького тиску (високої густини) зі стабілізаторами та іншими добавками, призначені для накладення ізоляції, оболонок і захисних покривів дротів і кабелів методом екструзії.

Марки композицій поліетилену для кабельної промисловості встановлюються на основі базових марок поліетилену високого тиску 10204-003, 15303-003, 10703-020, 18003-030, 17803-015 і рецептур добавок 01, 02, 04, 09, 10, 93-97, 99, 100, марки 10703-020 і рецептур 61 та поліетилену низького тиску (суспензійний метод) 20408-007, 20608-012, 20708-016, 20808-024 і рецептур добавок 07, 11, 12, 19, 57 поліетилену низького тиску (газофазний метод) на основі марки 271-порошок і рецептур добавок 70, 82, 83, марки 273-порошок і рецептур добавок 71, 81.

Позначення марок композицій поліетилену для кабельної промисловості складається з найменування матеріалу "поліетилен", трьох перших цифр позначення базової марки поліетилену, номера рецептури добавок, написаного через тире, і літери "К", що позначає застосування композицій поліетилену в

кабельній промисловості, та позначення стандарту, відповідно до якого виготовлений поліетилен для кабельної промисловості.

Приклад умовного позначення композиції для кабельної промисловості на основі поліетилену високого тиску базової марки 10204-003 з добавками відповідно до рецептури 09:

Поліетилен 102-09К

Приклад умовного позначення композиції для кабельної промисловості на основі поліетилену низького тиску базової марки 20408-007 з добавками відповідно до рецептури 07:

Поліетилен 204-07К

При замовленні поліетилену після позначення марки вказують сорт. Для поліетилену, призначеного для виготовлення електротехнічних виробів і виробів, що контактують з харчовими продуктами, питною водою, косметичними та лікарськими препаратами, іграшок, які контактують і не контактують з порожниною рота, а також для поліетилену, що підлягає тривалому зберіганню, додатково вказують відповідне призначення.

Але на ринку присутні й інші марки поліетилену, оскільки більшість виробників працює відповідно до власних ТУ, що відображають розвиток індустрії полімерних матеріалів, за яким система стандартизації не завжди встигає.

Висновки

В основі широкого застосування поліетилену закладені його фізико-хімічні властивості і зручність обробки. Поліетилен відрізняється легкістю переробки, з точки зору екології - це надзвичайно важливий фактор. Сучасна промисловість робить акцент не тільки на міцні і дешеві матеріали, а й на можливість їх повної переробки в майбутньому, якщо виникне необхідність.

2. Об’єкти та методи дослідження

2.1 Характеристика сировини та допоміжних матеріалів

Для виготовлення, досліджуваної в цьому проекті, композиції використовувались ротационный полиэтилен порошок Rotopol UR644 (рис.1.)

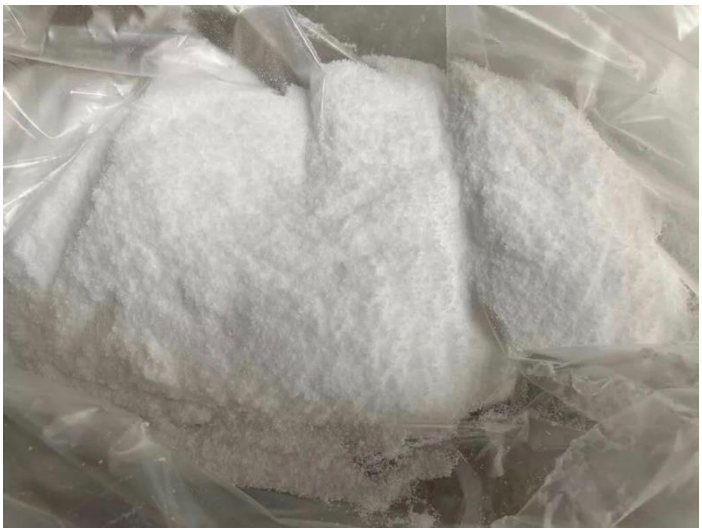


Рис.1. Ротационный полиэтилен порошок Rotopol UR644

Його отримують безперервною полімеризацією пропілену і сополімеризацією пропілену і етилену в присутності металоорганічних каталізаторів при низькому і середньому тиску в петлевому і газофазному реакторах. Випускають у вигляді гранул одного кольору розміром від 2 до 5 мм, стабілізованим і незабарвленим.

Таблиця 1.

Показники якості Rotopol UR644

Показники якості	Rotopol UR644
ПТР, г/10хв	5,1
Розкид значень показника плинності розплаву в межах партії, %, не більше	±10
Масова частка летючих речовин, %, не більше	0,12
Масова частка речовин, розчинних в холодному ксилолі, %, не більше	5

Масова частка ізотактичних фракції, %, не менше	95
Кількість включень, шт/кг, не більше	5
Аномалії гранулювання, %, не більше	5

В якості домішки використовувався порошок з мушель устриць (рис.2.).

Устриці Скіфії вирощуються на березі Чорного моря в екологічно чистому місці на кордоні Миколаївської та Одеської областей, безпосередньо в природному Національного парку. Унікальна система, розроблена українською командою, дозволяє виростити устриць за 16 місяців.

Рис. 2. Забруднення навколишнього середовища мушлями устриць

Після використання м’яса устриць мушлі викидаються, що забруднює навколишнє середовище (рис.2.). Для вирішення екологічної проблеми виготовили порошковий наповнювач, який утворився після обробки мушель устриць у муфельній печі при 750°С протягом 1,5 години [22].

Цей наповнювач вводили в поліетилен марки Rotopol UR644 у різних співвідношеннях.

Мушля складається з трьох шарів:

- Періостракум - зовнішній тонкий шар, що складається виключно з білка - конхіоліну. Фактично, він представлений двома щільно прилеглими один до одного шарами.
- Остракум - середній шар мушлі, складається з кристалічних призм карбонату кальцію ($CaCO_3$) в обгортці з конхіоліну. Структура його може бути досить різноманітною.

- Гіпостракум або перламутровий шар - внутрішній шар мушлі, складається з пластин $CaCO_3$, також обгорнутих конхіоліном.

Мінеральний компонент раковини устриці (що входить до складу остракума і гіпостракума) представлений виключно кальцитом [22].

У результаті отримали дрібнодисперсний порошок білого кольору, що складається переважно з карбонату кальцію ($CaCO_3$), так як під дією високої температури органічна складова раковин згоріла.

Карбонат кальцію - мінерал, що широко застосовується у промисловості. Використання цієї добавки значно полегшує виробництво і забезпечує рівномірне змішування, одночасно дозволяє досягти однорідності всієї полімерної композиції.

Методика визначення механічних властивостей при розтязі. Метод заснований на розтягу випробуваного зразка з установленою швидкістю деформування, при якому визначається ряд показників, що характеризують фізико-механічні властивості матеріалу [121]. Устаткування: Розривна машина типу ZD-10 для розтягу полімерного зразка з заданою швидкістю, мікрометр, штангенциркуль, лінійка для виміру розмірів зразка. Зразки для іспиту виготовляють формуванням, або механічною обробкою спеціальних заготовок.

При розтязі зразка типу 3, у зоні затиску його кінці варто підсилювати накладками довжиною не менше 50 мм, товщиною від 3 до 20 мм. Матеріал накладок повинен бути ідентичний матеріалу зразка, або із знанням модуля пружності, близьким до досліджуваного матеріалу. Зразки повинні бути гладкими, рівними, без пухирців, відколів, тріщин, раковин та інших видимих дефектів. Для іспиту ізотропних зразків використовують не менше 5 зразків, для анізотропних матеріалів - 5 зразків.

Прилад для виміру подовження в процесі іспитів повинний мати похибку виміру не більше 1%. Для виміру подовження використовують оптичні методи. При подовженні понад 25 мм допускається вимір подовження по мітках за допомогою масштабної лінійки з ціною розподілу не більш 1 мм. Прилад для

виміру ширини і товщини зразків має забезпечувати вимір із похибкою не більше 0,01 мм.

Методика проведення досліджень є такою. Перед іспитом на зразки наносять необхідні мітки. Мітки не повинні погіршувати якість зразків або викликати їх розриви в місцях міток. Товщину і ширину зразків заміряють у трьох місцях (у середині і на відстані 5 мм від міток). З отриманих значень обчислюють середнє арифметичне і розраховують початковий поперечний перетин А0. Зразки, у яких максимальне і мінімальне значення товщини або ширини розрізняються більше, ніж на 0,2 мм, не випробують. Зразки закріплюють у затисках машини по мітках таким чином, щоб подовжні осі затисків і вісь зразка збігалися між собою і напрямком руху рухливого затискача. Іспит ведуть при температурі 296 ± 2 К (23 ± 2°С) і відносній вологості 50 ±5 %. Затискачі рівномірно затягують, щоб виключити ковзання зразка в процесі іспита, але при цьому не допустити його руйнування в місці закріплення. При іспиті зразків, навантаження і подовження зразка визначають безупинно або в момент досягнення межі текучості, максимального навантаження, у момент руйнації.

Опрацювання результатів є таким. Значення міцності σ у МПа обчислюють по формулах:

Міцність при розтягу ($\sigma_{рм}$): $$\sigma_{рм} = \frac{F_{рм}}{A_o} \quad (2.19)$$

Міцність при розриві ($\sigma_{рр}$): $$\sigma_{рр} = \frac{F_{рр}}{A_o} \quad (2.20)$$

де: $F_{РМ}$ - максимальна напруга при розтягу; $F_{РР}$ - навантаження, при якому зразок зруйнувався; A_0 - площа початкового поперечного перетину зразка, мм^2. За результат приймають середнє арифметичне не менше 5 визначень. Значення відносного подовження (%) обчислюють по формулах:

Відносне видовження при максимальному навантаженні ($\varepsilon_{рм}$):

$$\varepsilon_{рм} = \frac{\Delta l_{рм}}{l_o} \cdot 100 \quad (2.21)$$

Відносне видовження при розриві ($\varepsilon_р$):

$$\varepsilon_р = \frac{\Delta l_р}{l_o} \cdot 100 \quad (2.22)$$

де: $l_{рм}$ - збільшення розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм; $l_р$ - збільшення розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм; l_0 - початкова розрахункова довжина зразка, мм.

Розрахунок модуля пружності:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}, \qquad (2.23)$$

де: Е - модуль пружності (Юнга).

Методика проведення реологічних досліджень. Показник течії розплаву (ПТР) досліджуваних композицій на основі поліетилену визначають як масу полімеру у грамах, що проходить крізь стандартний капіляр 2,09 мм за 10 хвилин при температурі 190°С та масі вантажу 5,0 та 21,6 кг. Визначення показника здійснюють за ГОСТ 11645-73 «Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов» [118] на приладі "ИИРТ-АМ". Величину ПТР в г/10 хв розраховують за формулою:

$$\text{ПТР} = 600 \cdot \frac{m}{t}, \qquad (2.12)$$

де m – середня маса зразка полімеру, г; t – час витікання зразка полімеру, с.

Для визначення динамічної в'язкості μ розплаву використовують таку методику. Динамічна в'язкість розплаву є коефіцієнтом пропорційності між напруженням зсуву та швидкістю зсуву, тобто мірою перетворення прикладеного напруження (тиску) в швидкість витікання розплаву (швидкість зсуву). При визначенні цієї в'язкості в режимі постійного напруження зсуву на полімер діє статичний вантаж, що створює зусилля через поршень приладу [119]. При цьому визначають швидкість втікання полімеру через калібрований капіляр. Даний спосіб реалізується у капілярній віскозиметрії на приладі "ИИРТ-АМ".

На розплав полімеру в капілярі діє напруження, обумовлене перепадом тиску ΔP (Па) на його довжині, яке визначається:

$$\Delta P = \frac{9{,}81 \cdot 4 \cdot P}{\pi \cdot d_{n^2}}, \qquad (2.13)$$

де P – маса поршня та вантажу, кг; d_n – діаметр поршня, м.

Напруження зсуву τ_p (Па) у капілярі розраховують за наступним рівнянням:

$$\tau_p = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot l}, \qquad (2.14)$$

де r - радіус капіляру, м; l – довжина капіляру, м.

Підставляючи ΔP (формула (2.13)) у формулу (2.14), для визначення τ_p одержуємо:

$$\tau_p = \frac{9.81 \cdot 4 \cdot P \cdot r}{2\pi \cdot d_{n^2} \cdot l} \quad (2.15)$$

Значення середньої швидкості зсуву γ_0 (м^2/с), що реалізується у капілярі, може бути обрахована через об'ємну витрату полімеру та радіус капіляра за формулою:

$$\gamma_0 = \frac{4Q \cdot r}{\pi \cdot r^2}, \quad (2.16)$$

де Q – об'ємна витрата розплаву полімеру, м^3/с.

Об'ємну витрату розплаву оцінюють за даними визначення показника текучості (ПТР) та густини розплаву ρ_T (кг/м^3) полімеру при температурі визначення текучості за формулою:

$$Q = \frac{\text{ПТР}}{60000 \cdot \rho_T} \quad (2.17)$$

В'язкість розплаву μ (Па·с) полімеру розраховують за формулою:

$$\mu = \frac{\tau_p}{\gamma} \quad (2.18)$$

Для визначення в'язкості поверхневого шару поліолефінових композицій на основі ПЕ застосовувався метод, зазначений в міждержавному стандарті ГОСТ 8420-74 "Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости" [120].

3.Експериментальна частина

3.1 Технологія виробництва плівки

При плоскощілинній екструзії розплав полімеру продавлюється через головку, формотворною поверхнею якої служать дві паралельні плити. Після виходу з головки плівковий лист необхідно швидко охолодити. Для цього, в безпосередній близькості від головки, встановлюють водяний ванну або охолоджувальний барабан. Швидке охолодження дозволяє отримувати плівки високої прозорості [23].

Вхідний контроль сировини

Властивості полімерної сировини регламентуються відповідними стандартами або технологічними умовами. Кожну партію виробник супроводжує сертифікатом, де вказані основні показники полімерного матеріалу. Вхідний контроль проводиться не завжди, але в ряді випадків виникає необхідність в його проведенні. До таких випадків належить, наприклад, виникнення технологічних проблем в процесі виробництва виробів і їх незадовільна якість.

Найбільш часто виникає необхідність в перевірці на відповідність стандартам таких характеристик, як показник плинності розплаву, вологовміст і об'ємні показники.

Об'ємні показники являють собою сукупність властивостей сировини, що характеризують розміри і форму частинок полімеру, їх кількість і розподіл в партії, молекулярну масу. Стосовно до пластмас прийнято вважати частки менше 2 мм порошком, від 2 до 6 мм - гранулами. Використання останніх краще, оскільки в цьому випадку полегшується транспортування і дозування, а також поліпшуються умови роботи персоналу цеху: менше пилу, ніж від порошку, їх простіше дозувати і т. д [23,24].

Підвищений вміст вологи в матеріалі і виділення летких речовин в процесі нагрівання полімеру мають негативний вплив на засвоюваність і якість продукції. Під вологістю розуміють вміст вільної вологи в полімері, виражене у відсотках до його маси.

Показник плинності розплаву (ПТР) характеризує швидкість течії розплавленого термопласта через капіляр стандартних розмірів при заданих температурі і тиску. ПТР виражається в грамах полімеру, що видавлюється протягом стандартного часу полімеру. Чим більше значення ПТР, тим вище плинність полімеру.

Формування плівки

Після виходу з головки полімерна плівка піддається одночасній витяжці в поздовжньому напрямку.

Видавлювана з головки прозора плівка на деякій відстані від неї мутніє. Момент затвердіння розплаву фіксується появою характерної кордону помутніння плівки, так званої лінії кристалізації [23].

Охолодження плівки

Охолодження плівки відбувається в основному за рахунок обдування потоком повітря з охолоджувального пристрою.

Для обдування використовуються вентилятори або повітродувки, з'єднані шлангами з обдувочним кільцем. Для забезпечення рівномірного розподілу повітря по периметру плівки кільце має всередині лабіринтові канали. Існує дві різні конфігурації обдувочного кільця - з одним або декількома повітряними потоками.

Обдувочне кільце з декількома повітряними потоками хоч і є більш дорогим оснащенням, проте забезпечує більш рівномірне охолодження, а відповідно рівну товщину і міцність плівки [25,26].

Намотування і упаковка плівки

Перед намотуванням плівки в рулони вона розрівнюється по ширині похилими гвинтовими напрямними роликами.

Одночасно з намотуванням проводиться зняття статичної електрики за допомогою нейтралізаторів, іонізуючих повітря. При намотуванні необхідно забезпечити певне зусилля стиснення і виключити утворення складок. Готова плівка намотується у вигляді рулонів на бобіни, виготовлені з пластмаси.

Контроль якості плівки

Продукція підприємств з переробки пластмас повинна відповідати вимогам, викладеним в технічній документації на виріб. З цією метою якість виробів контролюється безпосередньо в цеху, а також у відділах технічного контролю. Укладаючи договір про виробництво певного виду продукції на підприємстві, замовник і виконавець підписують «Угода про якість» (назва документа може змінюватися, але зміст зберігається), де перераховані всі обов'язкові види

випробувань продукції, що виробляється, терміни їх проведення, відповідні методики і апаратура.

До методів випробувань продукції в обов'язковому порядку пред'являються кілька вимог:

- швидкість проведення випробувань, щоб результати можна було використовувати для контролю якості в умовах роботи високопродуктивних машин без створення затримок у виробництві і відправлення продукції;
- результати повинні бути відтвореними в різних випробувальних лабораторіях і на різних випробувальних машинах. Це означає, що тест повинен бути нечутливим до невеликих варіацій в отриманому зразку, зносу або іншим дрібним відмінностям випробувальної апаратури;
- обов'язкова умова - технологічна значимість результатів, які повинні відображати реальні функціональні властивості плівки.

Для проведення ряду випробувань фахівці відділу контролю якості продукції на підприємстві готують зразки, вирубуючи або вирізаючи їх з полотна готової продукції, або спеціально виготовляють стандартні зразки. Далі зразки кондиціонують (для завершення релаксаційних процесів), витримуючи їх не менше 24 год при заданих умовах [27].

Проведення випробувань регламентується відповідними стандартами. Основні параметри якості готової продукції:

- товщина і різнотовщинність плівки;
- зовнішній вигляд полотна;
- міцність при розтягуванні;
- статичний коефіцієнт тертя (для плівки з ковзаючою добавкою на вимогу споживача).

На вимогу споживача можуть бути проведені специфічні випробування зразків відповідно до нормативно-технічної документації. Після перевірки продукції на відповідність стандарту плівку упаковують, маркують і транспортують на зберігання або відвантажують замовнику. Основні параметри

технологічного режиму на стадіях виробництва ПЕ плівки з порошком мушель устриць наведено в табл.2.

Таблиця 2.

Параметри технологічного режиму на стадіях виробництва ПЕ плівки

Найменування стадії процесу	**Найменування технологічного параметра**	**Од.вим.**	**Величина параметра**
1	2	3	4
1. Дозування та змішування компонентів	1. Кількість завантажуваних компонентів	кг	Відповідно до рецептури
	1. Температура змішувального бункера	°С	60±2
	2. Рівень заповнення змішувального бункера	%	50±10
2. Отримання неорієнтованої плівки			
2.1 Екструзія	1. Температура первинного екструдера:	°С	
	Зона 1		215±5
	Зона 2		230±5
	Зона 3		235±5
	Зона 4		240±5
	2. Температура з’єднувальної лінії між первинним і вторинним екструдерами:	°С	
	Зона 1		240±5

	Зона 2		240±5
	Зона 3		240±5
	Зона 4		240±5
	3. Тиск розплаву до вторинного екструдера	бар	45±5
	4. Температура вторинного екструдера:	°С	
	Зона 1		245±5
	Зона 2		245±5
	Зона 3		245±5
	Зона 4		245±5
	5. Швидкість обертання шнека екструдера	об/хв	18±1
	6. Температура з'єднувальної лінії перед фільтром	°С	250±5
	7. Температура фільтра	°С	253±5
	8. Температура з'єднувальної лінії:	°С	
	Зона 1		250±5
	Зона 2		250±5
	Зона 3		250±5
	Зона 4		250±5
	Зона 5		250±5
	Зона 6		250±5
	Зона 7		250±5
	Зона 8		250±5
	9. Тиск розплаву до фільтра	бар	не більше 200
3. Поздовжня витяжка	1. Температура попереднього підігріву:	°С	115±5
	Зона 1		115±5

	Зона 2		115±5
	Зона 3		115±5
	Зона 4		115±5
	Зона 5		110±5
	2. Температура витяжки:	°С	
	Зона 2		115±5
	Зона 3		115±5
	3. Температура стабілізації	°С	115±5
	4. Коефіцієнт витяжки	-	5,2±0,5

Основні дефекти плівки і способи їх усунення

Контроль якості плівки і усунення виявлених дефектів продукції є найважливішим етапом виробничого процесу екструзії плівки [29]. У таблиці представлені рекомендації щодо усунення дефектів плівки.

Таблиця 3.

Дефекти плівки і їх усунення

Види браку	**Можливі причини неполадок**	**Способи їх усунення**
1	2	3
1. Поздовжні смуги на плівці	1. Порушення температурного режиму екструзії 2. Механічне пошкодження губок філь'єри 3. Забруднення губок філь'єри 4. Неякісна збірка фільтра 5. Слабе розподілення води у водяній ванні	1. Привести температурний режим екструзії у відповідність з нормою 2. Замінити голівку 3. Очистити губки алюмінієвим або латунним скребком 4. Замінити фільтр 5. Відрегулювати систему подачі води
2. Поперечні смуги на плівці	1. Неправильне обертання поливного барабана 2. Низький коефіцієнт поздовжньої витяжки	1. Виправити баланс барабана 2. Збільшити коефіцієнт поздовжньої витяжки 3. Поліпшити

	3. Недостатня плакіровка «повітряним ножем»	плакіровку «повітряного ножа»
3. Різнотовщинність	1. Погано відрегульована щілина філь'єри 2. Не відрегульована температура філь'єри по зонах	1. Відрегулювати відстань між губками філь'єри 2. Відкоригувати температуру філь'єри по зонах
4. Плями різного ступеня прозорості	1. Не відрегульовано положення «повітряного ножа» 2. Недостатнє притиснення плівки «повітряним ножем»	1. Відрегулювати положення «повітряного ножа» (висоту, кут нахилу) 2. Збільшити витрату повітря через повітряний ніж
5. Непроплави в плівці-заготівлі	1. Недостатня фільтрація, пробитий фільтр 2. Низька температура екструзії	1. Замінити фільтр 2.Повисити температуру екструзії
6. Прилипання плівки до поверхні валків	1. Висока температура валків 2. Порушено тефлонове покриття валків 3. Забруднені валки 4. Низька температура плавлення сополімера	1. Знизити температуру валків 2. Перевірити якість покриття 3. Очистити поверхню валків 4. Замінити партію сополімера
7. Мутність плівки	1.Низький вміст вторинного грануляту в суміші 2. Завищена температура поливного барабана 3. Завищена температура поперечної витяжки 4. Підвищена вологість сополімера	1. Підвищити норми вмісту в суміші вторинного регранулята 2. Знизити температуру поливного барабана 3. Знизити температуру поперечної витяжки 4. Висушити або замінити сополімер
8. Розрив плівки при поперечній витяжці	1. Дірки в розплаві 2. Смуги на плівці, що виходить з голівки, неправильний профіль плівки 3. Волокнисті краї	1. Знизити температуру зон обігріву екструдера, проконтролювати вологість сировини 2. Усувається за п.1 3. Відрегулювати

	плівки-заготовки або одноосноорієнтованої плівки 4. Підтікання філь'єри 5. Великий коефіцієнт витяжки 6. Вислизання плівки з клуп 7. Конденсат в ТДО.	положення «повітряного ножа» 4. Відрегулювати притиск країв плівки 5. Відрегулювати профіль доріг 6. Провести ревізію клуп 7. Очистити відповідні зони
9. Мала міцність в поздовжньому напрямку	1. Недостатня орієнтація в поздовжньому напрямку	1. Збільшити коефіцієнт витяжки, знизити температуру на валках МДО, змінити партію сировини ПЕ.
10. Мала міцність в поперечному напрямку	1. Недостатня орієнтація в поперечному напрямку	1. Відрегулювати температуру в зонах попереднього підігріву та орієнтації ТДО
Неполадки, які загрожують аварією		
1. Збільшення тиску розплаву в працюючому екструдері вище норми	1. Занижений температурний режим екструдера 2. Забиті пори фільтра	1. Підвищити температурний режим екструдера 2. Замінити фільтр
2. При пуску екструдера тиск розплаву підвищується до 250 бар, а розплав на виході не з'являється	1. Недостатній прогрів системи екструдерів 2. Якщо через 10-15 хвилин розплав не виходить	1. Перевірити нагрівачі лінії розплаву, фільтра, філь'єри; підвищити температуру екструзії 2. екструдер зупинити, охолодити, відрегулювати систему
3. Підвищення навантаження на головний привід	1. Відсутність мастила, несправність маслонасоса або системи змащення	1. Зупинити привід, долити мастило, відремонтувати маслонасос або систему змащення

3.2 Опис технологічного процесу

Різноманіття видів застосовуваних плівок визначає різноманітність методів їх виробництва. Основний обсяг виготовлених у світі полімерних плівок доводиться на плівки з розплавів пластичних мас, основу яких складають

полімери, здатні при нагріванні переходити у в’язко текучий або високо еластичний стан, не зазнаючи при цьому термічної деструкції.

Метод виробництва плівки визначається хімічною природою полімеру і призначенням готової плівки. В даний час можна виділити чотири групи методів виготовлення плівки з полімеру, що знаходиться в в'язко текучому або високо еластичному стані: екструзія, каландрування, виробництво комбінованих плівок, фізико-хімічна модифікація плівок [30].

Фізична сутність методів екструзії і каландрування полягає в формуванні з розплаву полімеру заготовок з подальшим їх деформуванням до заданих розмірів плівки і фіксування їх охолодженням.

Процес виробництва комбінованих плівок пов'язаний з суміщенням або впровадженням полімеру у в'язко текучому стані в іншій стрічковий матеріал із забезпеченням при цьому необхідної міжпрошаркової адгезії. Питання спрямованого впливу на фізико-механічні та експлуатаційні властивості плівок вирішують використанням методів фізичної та хімічної модифікації. У першому випадку перетворення, наприклад, надмолекулярних структур полімерів відбувається під впливом фізичних факторів. При хімічній ж модифікації відбуваються зміни в хімічному будову макромолекул, змінюється характер зв'язку між ними.

Екструзія - метод формування довгомірних полімерних деталей з постійним поперечним перерізом шляхом безперервного видавлювання розплаву полімеру крізь формотворне отвір головки з наступною фіксацією фази охолодження розплаву .

У світовій практиці до 40% термопластичних полімерів переробляють у вироби методом екструзії з використанням черв'ячних пресів (екструдерів) різних типів.

Таким методом переробляють у плівки поліетилен, поліпропілен, полівінілхлорид та інші полімери, переважно у вигляді гомогенних матеріалів, рідше наповнених газами або мінеральними порошками та іншими компонентами,

що поліпшують їх експлуатаційні властивості. Розрізняють метод екструзії через головки плоско-щілинних (плоска плівка) і кільцеву (рукавна плівка).

Тиск на розплав перед формуючою головкою може створюватися різними механізмами; шнеком, плунжером, дисками і іншими пристроями. Виробництво різних видів виробів методом екструзії здійснюється шляхом підготовки розплаву в екструдері і наданні екструдату тієї чи іншої форми за допомогою, як було сказано, продавлювання його через формуючі головки відповідної конструкції з наступними охолодженням, калібруванням і так далі [32].

Екструзія - технологія отримання виробів шляхом продавлювання розплаву матеріалу через формуючий отвір. Зазвичай використовується у виробництві полімерних, феритових виробів, а також в харчовій промисловості, шляхом продавлювання розплаву матеріалу через формуючий отвір екструдера.

Екструзія являє собою безперервний технологічний процес, що полягає в продавлюванні матеріалу, що володіє високою в'язкістю в рідкому стані, через що формує інструмент, з метою отримання виробу з поперечним перерізом необхідної форми. У промисловості, за допомогою переробки полімерів методом екструзії виготовляють різні погонажні вироби, такі, як труби, листи, плівки, оболонки кабелів, елементи оптичних систем світильників - розсіювачі, і так далі.

Процес виробництва плоских плівок полягає в наступному: розплав з екструдера подається через фільтр в плоскощілинну голівку, далі утворене плівкове полотно надходить у пристрій, що охолоджує, потім у тягнуче, обрізний і намотувальний.

В основному використовують два способи охолодження плоскої плівки: на валках або у ванні з водою. Плоска плівка, отримана швидким охолодженням при зануренні у ванну з водою або подачею розплаву на полірований металевий валок, має ряд позитивних властивостей, наприклад, високі прозорість і глянець, підвищену жорсткість і міцність і т. д. Завдяки цим властивостям її широко використовують в якості пакувального матеріалу.

Методом екструзії через плоскощілинну голівку виготовляють як товарну плівку, що йде безпосередньо у споживання, так і заготовки для подальшої орієнтації .

При екструзії через плоскощілинну голівку досягаються швидкості виготовлення плівки, що перевищують у 2-3 рази швидкості прийому рукавної плівки. Проте виготовлення широких (більше 1500 мм) плоских плівок пов'язано з великими технічними труднощами і економічно не вигідно.

У процесі виробництва плівок головним чином контролюють такі фізико-механічні показники плівки, як руйнівну напругу при розтягуванні або межа плинності, модуль пружності при розтягуванні, прозорість, газопроникність, зварюваність. Зазначені параметри в більшій чи меншій мірі залежать від вихідних властивостей сировини, що переробляється і параметрів технологічного процесу виробництва.

До основних технологічних параметрах, що впливає на фізико-механічні властивості плівки, відносяться (в межах одного методу виробництва) кратність витяжки або ступінь орієнтації полімеру, режим термообробки (охолодження) плівки, рівномірність товщини одержуваної плівки, температурно-часові умови кристалізації полімеру (для кристалізуються полімерів).

На структуру одного і того ж полімеру впливають такі фактори, як молекулярно-масовий розподіл, температурно-часові і деформаційні характеристики процесу підготовки розплаву і попереднього формування, режими формоутворення і т. п.; це визначає складність завдання отримання полімерної плівки із заданими фізико-механічними властивостями і контрольованими параметрами структури.

Властивості сировини, що переробляється

Властивості перероблюваної сировини головним чином визначають перераховані фізико-механічні показники одержуваної плівки. Залежно від необхідних властивостей плівки вибирають той чи інший вид вихідного матеріалу. Ці показники в процесі переробки можуть змінюватися в залежності від параметрів технологічного процесу.

Ступінь витяжки з наступним охолодженням

Ступенем витяжки з наступним охолодженням розплаву полімеру в процесі формоутворення головним чином змінюють такі показники як руйнівне напруження при розтягуванні і відносне подовження. Експериментально встановлено, що ступінь орієнтації плівок є функцією ступеня витяжки і температурної передісторії зразка.

Режим термообробки

Режим термообробки (охолодження) плівки в незначній мірі викликає зміна таких показників, як відносне подовження і руйнівне напруження при розтяганні для обраного методу охолодження. Так, експериментальні дослідження процесу формоутворення рукавної плівки з поліетилену низької щільності в потоці повітря показали, що зміна інтенсивності охолодження плівки в зоні формоутворення в 2 рази практично не призводить до зміни зазначених фізико-механічних властивостей плівки (10-15%). Аналогічні результати отримані і при охолодженні плоских плівок.

Істотна різниця у фізико-механічних показниках плівок відзначена при використанні різних методів охолодження. Наприклад, при рукавної методі виробництва плівки з використанням водяного (стікає шар рідини) і повітряного охолодження багато показників істотно розрізняються.

Процеси, що відбуваються при екструзії

Технологічний процес екструзії складається з послідовного переміщення матеріалу обертовим шнеком в його зонах (див. рис.2): живлення (I), пластикації (II), дозування розплаву (III), а потім просування розплаву в каналах формуючої головки і охолодження екструдату.

Розподіл шнека на зони I-III здійснюється за технологічною ознакою, і назва зони вказує на те, яку операцію в основному виконує дана ділянка шнека. Поділ шнека на зони умовний, оскільки в залежності від природи полімеру, що переробляється, температурно-швидкісного режиму процесу та інших факторів початок і закінчення певних операцій можуть зміщуватися вздовж шнека, захоплюючи різні зони або переходячи з однієї ділянки в інший.

Циліндр також має зони обігріву певної довжини. Довжина цих зон визначається розташуванням нагрівачів на його поверхні і їх температурою. Межі зон шнека I-III і зон обігріву циліндра можуть не збігатися. Для забезпечення успішного переміщення матеріалу велике значення мають умови просування твердого матеріалу з завантажувального бункера і заповнення міжвиткового простору, що знаходиться під лійкою бункера.

Розглянемо поведінку матеріалу послідовно на кожному етапі екструзії .

Завантаження сировини

Вихідна сировина для екструзії, що подається в бункер, може бути у вигляді порошку, гранул, стрічок. Останній вид сировини характерний для переробки відходів промислового виробництва плівок, яка здійснюється на спеціальних екструдерах, забезпечених примусовими живильниками -дозаторами, що встановлюються в бункерах. Рівномірне дозування матеріалу з бункера забезпечує хорошу якість екструдату.

Переробка полімеру у вигляді гранул - найкращий варіант живлення екструдера. Це пояснюється тим, що гранули полімеру менше схильні до "зависання", утворення заторів в бункері, ніж порошок [36].

Порошкоподібний матеріал може злежуватися в процесі зберігання і транспортування, в тому числі і при проходженні через бункер. Гранульований матеріал на відміну від порошку має постійну насипну масу.

При переробці багатокомпонентних матеріалів для завантаження їх в бункер застосовуються індивідуальні дозатори: шнекові (об'ємні), вібраційні, вагові і т.д.

Якщо при застосуванні порошкоподібних матеріалів останні мають непостійну сипучість, то в бункерах утворюються "склепіння", зависаючі на стінках бункера. Живлення шнека матеріалом припиняється. Для усунення цього необхідно в бункер поміщати ворошителі.

Сипучість матеріалу залежить у великій мірі від вологості: чим більше вологість, тим менше сипкість. Тому матеріали повинні бути спочатку підсушені.

Для збільшення продуктивності машини гранули можна заздалегідь підігріти. Застосовуючи пристосування для примусової подачі матеріалу з

бункера на шнек, також вдається істотно підвищити продуктивність машини (в 3-4 рази).

При ущільненні матеріалу в міжвитковому просторі шнека витіснене повітря виходить назад через бункер. Якщо видалення повітря буде неповним, то він залишиться в розплаві і після формування утворює в виробі порожнини. Це є браком виробів.

Зміна рівня заповнення бункера матеріалом по висоті також впливає на повноту заповнення шнека. Тому бункер забезпечений спеціальними автоматичними рівнемірами, по команді яких відбувається завантаження бункера матеріалом до потрібного рівня. Завантаження бункера екструдера здійснюється за допомогою пневмотранспорту.

Живлення шнека залежить від форми частинок сировини і їх щільності. Гранули, отримані різкою заготовки на гарячій решітці гранулятора, не мають гострих кутів і ребер, що сприяє їх кращій сипучості. Гранули, отримані холодної рубкою прутка-заготовки, мають гострі кути, плоский перетин зрізу, що сприяє їх зчепленню і, як наслідок, погіршення сипучості. При тривалій роботі екструдера можливий перегрів циліндра під лійкою бункера і самого бункера. В цьому випадку гранули почнуть злипатися, і припиниться їх подача на шнек (утворюється так званий "козел"). Для запобігання перегріву цієї частини циліндра в ньому робляться порожнини для циркуляції охолоджуючої води [36].

Зона живлення (I)

Гранули, що надходять з бункера, заповнюють міжвитковий простір шнека зони I і ущільнюються. Ущільнення і стиснення гранул в зоні I відбувається, як правило, за рахунок зменшення глибини нарізки шнека. просування гранул здійснюється внаслідок різниці значень сили тертя полімеру об внутрішню поверхню корпусу циліндра і об поверхню шнека. Оскільки поверхня контакту полімеру з поверхнею шнека більше, ніж з поверхнею циліндра, необхідно зменшити коефіцієнт тертя полімеру об шнек, так як в противному випадку матеріал перестане рухатися уздовж осі шнека, а почне обертатися разом з ним.

Це досягається підвищенням температури стінки циліндра (нагріванням) і зниженням температури шнека (охолодженням водою в зоні I) [36].

У зону подається тепло від нагрівачів, розташованих по периметру циліндра.

Якщо температура циліндра така, що починається передчасне плавлення полімеру біля його стінки, то матеріал буде прослизати по цій поверхні, тобто обертатися разом зі шнеком. Поступальний рух матеріалу припиняється. При оптимальній температурі полімер спресований, ущільнений і утворює в міжвитковому просторі тверду пробку. Найкраще, якщо така змінна пробка утворюється і зберігається на кордоні зон I і II. Властивості пробки багато в чому визначають продуктивність машини, стабільність транспортування полімеру, величину максимального тиску і т.д.

Зі збільшенням частоти обертання шнека продуктивність екструдера повинна зростати відповідно до рівняння:

$$Q = apvN,$$

де Q - продуктивність машини; p - щільність полімеру; v - обсяг нарізки одного витка шнека; N - частота обертання шнека; a - коефіцієнт заповнення шнека (0,15-0,50). Точність розрахунку Q по даному рівнянню визначається правильним вибором величини a, яка залежить від форми і розмірів частинок вихідного полімеру (гранули, порошок) і способу заповнення ним міжвиткового простору [34] .

Зона пластикації і плавлення (II)

На початку зони II відбувається підплавлення полімеру, що примикає до поверхні циліндра. Розплав поступово накопичується і впливає на спадаючу по ширині пробку. Оскільки глибина нарізки шнека зменшується в міру просування матеріалу від зони до зони III, то виникаючий тиск змушує пробку щільно притискатися до гарячої стінки циліндра, де і відбувається плавлення полімеру.

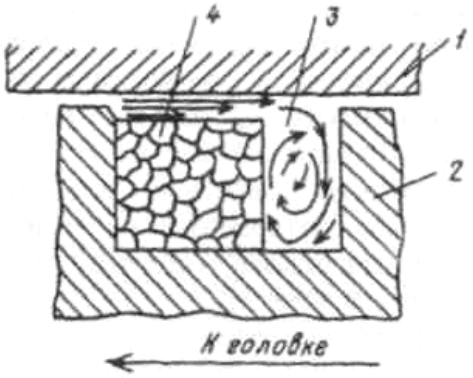


Рис. 3. Схема плавлення пробки матеріалу в зоні II в міжвитковому перетині шнека: 1 - стінки циліндра; 2 - гребінь шнека; 3 - потоки розплаву полімеру; 4 - спресований твердий полімер (пробка) в екструдері [36].

У зоні пластикації пробка плавиться також і під дією тепла, що виділяється внаслідок внутрішнього, в'язкого тертя в матеріалі в тонкому шарі розплаву, де відбуваються інтенсивні зсувні деформації, - матеріал пластифікується. Остання обставина призводить до вираженого змішувального ефекту. Розплав інтенсивно гомогенізується, а складові композиційного матеріалу перемішуються [36]. Кінець зони II характеризується розпадом пробки на окремі фрагменти. Далі розплав полімеру із залишками твердих частинок потрапляє в зону дозування. Зменшуючись глибина нарізки шнека створює тиск, який необхідний для продавлювання розплаву через фільтруючі сітки, подачі його в голівку, ущільнення і в підсумку - для виходу сформованого виробу. Основний підйом тиску розплаву відбувається на кордоні зон I і II. На цьому кордоні утворена пробка із пресованого матеріалу якби ковзає по шнеку: в зоні I це твердий матеріал, в зоні II - плавиться. Наявність пробки і створює основний внесок в підвищення тиску розплаву. Запасений на виході з циліндра тиск витрачається на подолання опору сіток, течії розплаву в каналах головки і формування виробу [36].

Зона дозування (III)

Просування гетерогенного матеріалу (розплав, частинки твердого полімеру) супроводжується виділенням внутрішнього тепла, яке є результатом інтенсивних зсувних деформацій в полімері. Розплавлена маса продовжує гомогенізуватись,

що проявляється в остаточному плавленні залишків твердого полімеру, усередненні в'язкості і температури розплавленої частини. У міжвиткового просторі розплав має ряд потоків, основними з яких є поздовжній і циркуляційний. Величина поздовжнього потоку (уздовж осі шнека) визначає продуктивність екструдера Q, а циркуляційного - якість гомогенізації полімеру або змішування компонентів. У свою чергу, поздовжній потік складається з трьох потоків розплаву: прямого, зворотного (по шнеку) і потоку витоків.

На рисунку 4 показані епюри розподілу швидкостей прямого (а), зворотного (б) і результуючого (в) потоків розплаву в міжвитковому просторі шнека.

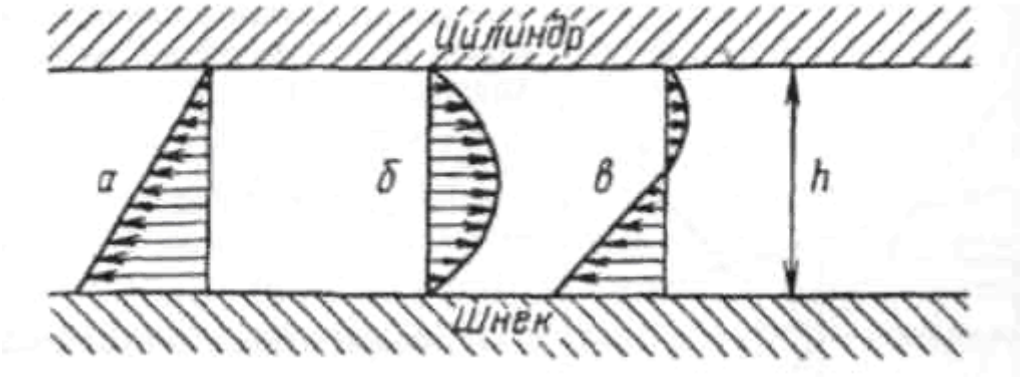


Рис. 4 - Епюри швидкостей розплаву: а - прямий потік; б - зворотний потік; в - результуючий потік; h - відстань між рухомою (шнек) і нерухомою (циліндр) поверхнями [36].

Основні параметри процесу екструзії

До технологічних параметрів належать температура переробки полімеру, тиск розплаву, температура зон головки і температурні режими охолодження сформованого екструдату.

Основними технологічними характеристиками екструдера є L, D, частота обертання шнека N, геометричний профіль шнека, ступінь зміни обсягу каналу шнека.

Основною характеристикою формуючої оснастки (разом з фільтруючими сітками) є коефіцієнт опору течією розплаву К.

Наростання тиску на фільтруючих сітках служить показником засмічення, тобто збільшення опору сіток і, отже, сигналом до їх заміни.

Показником роботи екструдера є його ефективність - відношення продуктивності до потужності споживання.

Опис технологічного процесу одержання ПЕ плівки з порошком раковин устриць

Процес виробництва ПЕ плівки з порошком мушель устриць в якості наповнювача складається з наступних стадій [37]:

1) Дозування і змішування компонентів;
2) Отримання полімерної композиції;
3) Отримання неорієнтованої плівки;
4) Поздовжня витяжка;
5) Обрізка кромок;
6) Намотування готової плівки;
7) Упаковка плівки;
8) Переробка відходів.

Технологічна схема отримання поліетиленової плівки з порошком раковин устриць представлена на рисунку 5.

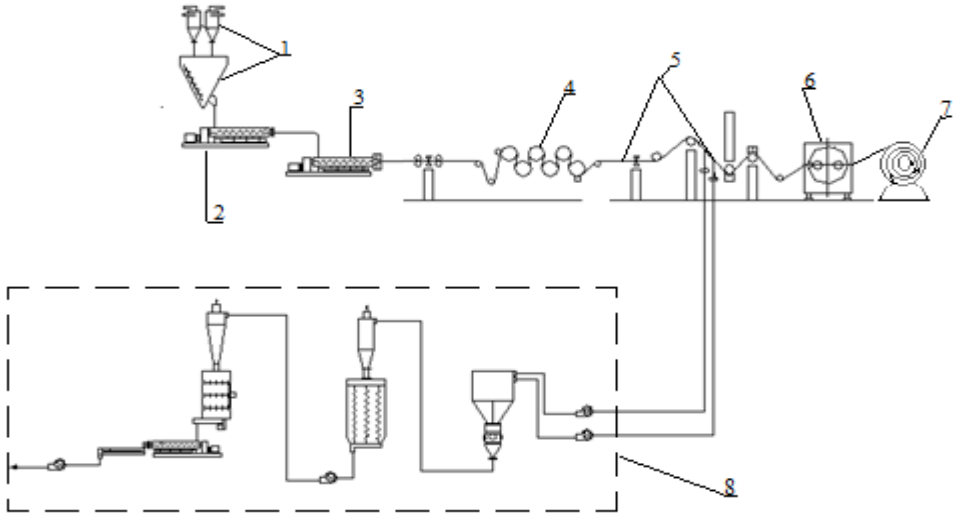


Рис. 5. Технологічна схема отримання ПЕ плівки з порошком раковин устриць.

3.3 Опис обладнання

Екструдер (рис. 6) - машина для формування пластичних матеріалів, шляхом надання їм форми, за допомогою продавлювання через профілюючий інструмент. По будові та принципу роботи основного вузла, що продавлює

розплав в голівку, екструдери поділяються на шнекові, безшнекові і комбіновані [38].

В окремих випадках застосовуються безшнекові, або дискові, екструдери, в яких робочим органом, що продавлює розплав в голівку, є диск особливої форми. Рушійна сила, що продавлює розплав, утворюється в них за рахунок розвитку в розплаві нормальних напружень, спрямованих перпендикулярно дотичним (що збігається з напрямком обертання диска). Дискові екструдери застосовуються, коли необхідно забезпечити поліпшене змішування компонентів суміші. Через неможливість розвивати високий тиск формування такі екструдери застосовуються для отримання виробів з відносно невисокими механічними характеристиками і низькою точністю розмірів. Полімери, що переробляються на дискових екструдерах, повинні мати підвищену термостабільність розплаву.

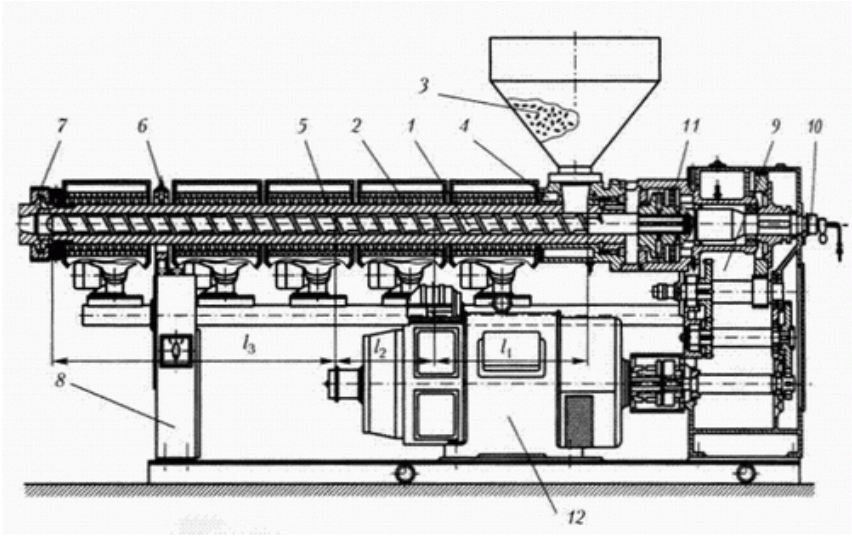


Рис.6. Принциповий пристрій одношнекового екструдера: 1-шнек; 2-матеріальний циліндр; 3-завантажувальний бункер; 4-охолоджуючі канали; 5-кільцеві зонні нагрівачі; 6-термопари; 7-формуюча головка; 8-корпус екструдера; 9-механічна передача; 10-патрубок для відведення охолоджуючої води; 11-підшипниковий вузол; 12-електродвигун.

По будові та принципу роботи основного вузла, що продавлює розплав в голівку, екструдери поділяються на шнекові, безшнекові і комбіновані [38].

В окремих випадках застосовуються безшнекові, або дискові, екструдери, в яких робочим органом, що продавлює розплав в голівку, є диск особливої форми.

Рушійна сила, що продавлює розплав, утворюється в них за рахунок розвитку в розплаві нормальних напружень, спрямованих перпендикулярно дотичним (що збігається з напрямком обертання диска). Дискові екструдери застосовуються, коли необхідно забезпечити поліпшене змішування компонентів суміші. Через неможливість розвивати високий тиск формування такі екструдери застосовуються для отримання виробів з відносно невисокими механічними характеристиками і низькою точністю розмірів. Полімери, що переробляються на дискових екструдерах, повинні мати підвищену термостабільність розплаву.

Комбіновані екструдери мають в якості робочого органу пристрій, що поєднує шнекову і дискову частини, і називаються черв'ячно-дисковими. Застосовуються для забезпечення гарного змішувального ефекту, особливо при переробці композитів. На них переробляються розплави пластмас, що мають низьку в'язкість і досить високу еластичність.

Шнекові екструдери можуть бути різних типів: одно- і двошнекові; одно- і двоступінчасті; універсальні і спеціалізовані; з осцильованим (уздовж осі) і одночасно обертовим шнеком; із зоною дегазації і без неї; з обертанням шнеків в одну і в протилежні сторони і т. д. [38].

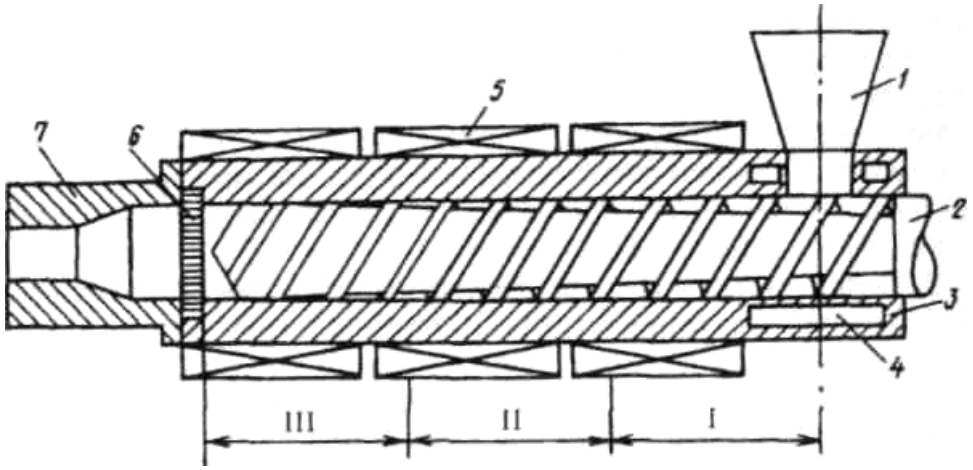


Рис. 7 - Схема одношнекового екструдера: 1 - бункер; 2 - шнек; 3 - циліндр; 4 - порожнина для циркуляції води; 5 - нагрівач; б-решітка з сітками; 7 - формуюча головка; 1, II, III - технологічні зони (пояснення в тексті) [38].

Найбільш простим є одношнековий екструдер без зони дегазації. Основними елементами екструдера є обігрівається циліндр, шнек (з охолодженням або без нього), сітки, що розміщуються на решітці, і формуюча

головка. Залежно від природи полімеру, технологічних режимів переробки застосовуються шнеки різного профілю, зокрема з різним характером зміни глибини h нарізки по довжині шнека.

При виробництві плівок застосовуються екструзійні установки з довгими шнеками для усунення пульсації розплаву; екструдери - з L / D = 20-25 і з D від 20 до 90 мм (іноді до 120 мм). Плівки виходять після витяжки та роздування товщиною від 10 до 300 мкм з коливанням товщини ± 10%.

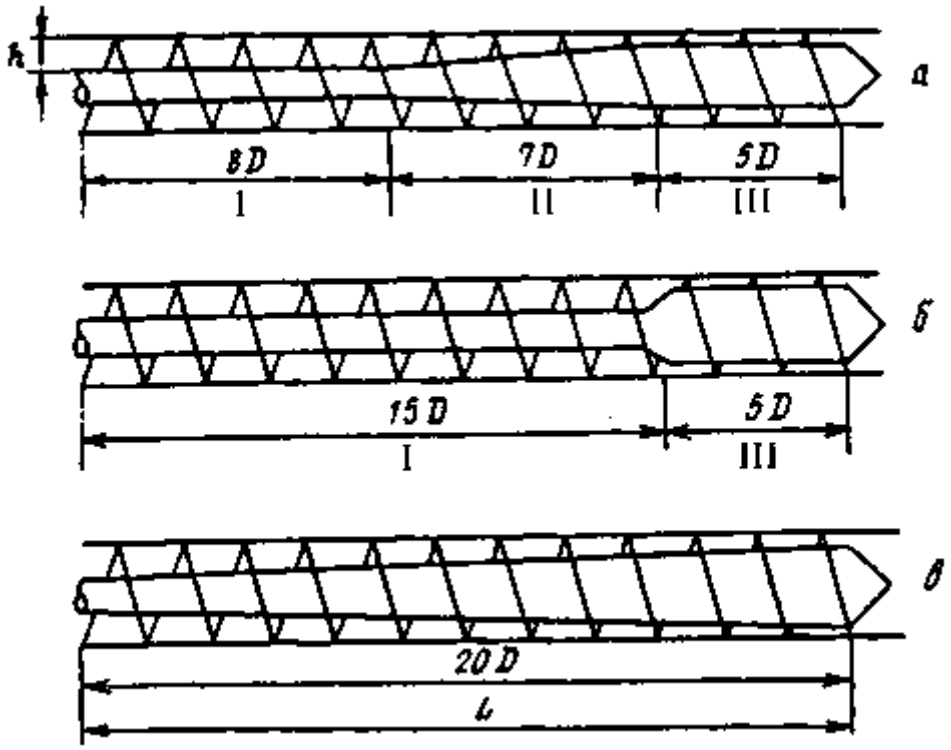


Рис. 8 - Основні типи шнеків: а - шнек загального призначення з трьома (I, II, III) геометричними зонами; б - шнек для переробки висококристалічних полімерів; в - шнек для екструзії ПЕ; D - зовнішній діаметр; L - довжина (технологічна) шнека; h - глибина нарізки шнека [38].

Основною вимогою до екструзійних голівок є сталість опору поточного розплаву в каналах формуючого інструмента та, як наслідок цього, сталість швидкості виходу екструдату по всьому периметру формуючої щілини.

У міру забивання сіток (металевих або металокерамічних) сторонніми включеннями їх опір зростає, що служить сигналом для їх зміни. Сітки можуть змінюватися або з зупинкою машини і демонтажем, або без зупинки. У другому

випадку фільтруючі стрічкові сітки повинні безперервно рухатися, входячи чистими в екструдер і виходячи з нього забрудненими. Сучасні установки оснащені апаратурою, що забезпечує:

1) контроль і автоматичне регулювання температур по зонах;

2) контроль тиску розплаву до і після сіток;

3) контроль товщини екструдату, формуючого зазору, товщини плівки;

4) безступінчасте регулювання частоти обертання шнека;

5) контроль за споживаною потужністю екструдера;

6) безступінчасте, плавну зміну швидкості приймально-тягнуть валків.

Бажано мати установку для забезпечення циркуляції повітря, саме повітря повинно бути осушене і охолоджене.

Для точного регулювання щілинного кільцевого зазору застосовують мікрогвинти, керовані автоматизованими системами контролю товщини плівки. Для інтенсифікації процесу охолодження плівки вище лінії кристалізації застосовують додаткові обдувальні кільця або ряд вентиляторів з індивідуально регульованими частотами обертання валу двигуна, а також додають плівку щоки з порожнинами для циркуляції охолоджуючої води.

Для отримання плівок з постійним діаметром рукава з метою інтенсифікації процесу виробництва використовують охолоджуються водою металеві насадки. При контакті гарячої плівки з холодною поверхнею насадки плівка швидко охолоджується, після чого вона відразу складається і намотується.

Для розрізання рукава в поздовжньому напрямку при отриманні широкого одношарового полотна застосовують ніж, розрізає рукав тільки з одного боку. Спеціальний пристрій розгортає рукав і змотує його в один рулон. В цьому випадку плоска плівка має подвійну ширину.

Для зменшення різнотовщинності екструдату і/або додаткової орієнтації макромолекул на стадії отримання екструдату застосовують головку з обертовим дорном, що створює потоки полімерного розплаву на внутрішній стороні рукава, що має завдяки цьому орієнтацію молекул в радіальному напрямку (по спіралі з урахуванням швидкості виходу рукава з щілини) [38].

Визначення щільності полімерних композицій градієнтним методом

Існує декілька способів визначення густини полімерів, в тому числі флотаційний та пікнометричний. Найбільш зручним і точним вважається метод градієнтної труби (колонки), що є варіантом флотаційного методу.

Досліджуваний зразок полімеру поміщається в циліндр, заповнений двома рідинами нашарованими одна на одну, що мають різний показник густини та здатні змішуватись. Вони утворюють вертикальний градієнт щільності внаслідок внутрішньої дифузії рідин. Полімерний зразок, опущений в суміш, зупиняється в тому прошарку рідини, густина якого дорівнює густині зразка. Попередньо проводиться калібровка такого циліндру, що називається градієнтною трубою, з допомогою скляних кульок різної густин. По густині опущених кульок будується калібровочна крива з координатами «густина-висота труби».

Для заповнення градієнтної труби використовують різноманітні рідини. В будь-яких випадках суміш повинна задовольняти наступні вимоги:

- рідини повинні добре змішуватись;
- їх питома вага повинна бути достатньо близька (різниця повинна бути не більше 0,2 г/см^3);
- суміш повинна добре змочувати полімер;
- полімер не повинен набухати в суміші.

Для поліетиленових волокон при градієнтному методі використовується суміш води та спирту.

В градієнтну трубу заливаємо легку рідину, а потім шляхом витіснення важку рідину за допомогою довгої воронки з довгим кінцем опущеним на дно циліндру. Потім рідини обережно перемішуємо з допомогою мідного або скляного прута, що закінчується спіраллю. Після перемішування суміші її витримують 48 годин.

Далі в суміш опускаємо кульки і через 15-20 хв. відмічаємо положення центра кульки відносно висоти труби. По отриманим даним будуємо калібровочну криву.

Зразки обережно переносним в трубу. Після того, як зразки займають певне положення, заміряємо висоту зразків в трубі і визначаємо по калібровочній кривій його густину. Допустима помилка досліду 0,001-0,002 г/см^3 , тобто 0,1-0,2%.

3.4 Розрахунок основних показників обладнання

Розрахунок питомих норм витрат сировини

Видатковою нормою називають величину витрат сировини для виготовлення 1000 кг плівки з урахуванням безповоротних і зворотних відходів. Видаткову норму матеріалу розраховують за формулою:

$$H_1 = m \cdot K_{\text{общ}}$$

де m - 1000 кг плівки; $K_{\text{общ}}$- коефіцієнт, що враховує безповоротні відходи і поворотні втрати:

$$K_{\text{общ}} = 1 + a_n + a_{\text{вз}}(1 - k)$$

де a_n - коефіцієнт, що враховує безповоротні втрати; $a_{\text{вз}}$ - Коефіцієнт, що враховує зворотні відходи; k - коефіцієнт використання відходів у виробництві.

Кількість відходів і втрат виробництва поліетиленової плівки показано в табл.4 .

Таблиця 4.

Кількість відходів і витрат виробництва

Відходи і втрати	Маса, кг	a_n, %
Зворотні	558,0	0,558
в основному технологічному	323,0	0,323
процесі, при різанні	235,0	0,235
Безповоротні	26,0	0,026
при зберіганні і	21,0	0,021
транспортуванні, в основному	5,0	0,005
технологічному процесі		

$$K_{\text{общ}} = 1 + 0{,}558 + 0{,}026 = 1{,}584$$

$$H_1 = 1000 \cdot 1{,}584 = 1584\text{кг}$$

Коефіцієнт використання вихідного матеріалу визначається за формулою:

$$K_{\text{исп}} = m/H$$

Розрахунок коефіцієнта використання сировини:

$$K_{\text{исп}} = \frac{1000}{1584} = 0{,}63$$

Коефіцієнт використання сировини з урахуванням зворотних відходів виробництва:

$$H_2 = H_1 - a_{\text{вз}}$$

$$H_2 = 1584 - 558 = 1026$$

$$K_{2\text{исп}} = \frac{1000}{1026} = 0{,}97$$

В даному виробництві поліетиленової плівки коефіцієнт використання сировини становить 0,97, з урахуванням зворотних відходів.

Розрахунок продуктивності екструдера СМ 80/143

Екструдер одношнековий:

- тип – Е1-32*25Сп;
- частота обертання шнека, об/хв - 10÷70;
- діаметр шнека, мм – 32;
- відношення довжини шнека до діаметру – 25;
- потужність електропривода, кВт – 3;
- потужність електрообігріву, кВт – 2,5;
- кількість зон нагріву, шт – 3.

Температура зон обігріву екструдера і екструзійної головки встановлюється за вимогами технологічного процесу.

Продуктивність (Q) розраховується за формулою:

$Q=2Nl*[\pi H(D-H-D^2a/4*2+D^2/2*\sin(a/2)-DH/2*\sin(a/2)*B/\cos\varphi$,де

N – частота обертання шнеків; l – західність гвинтової нарізки; H – висота гребеня; D – діаметр шнека; a – кут зчеплення шнеків; φ– кут підйому гвинтового каналу.

Вираз B/cosφ знаходимо за формулою:

$V_B=(S_K-S_C)*B/\cos\varphi$, відповідно

$B/\cos\varphi=V_B/(S_K-S_C)$

де V_B – об’єм с-подібної секції каналу біля останнього витка нарізки, який знаходимо за формулою:

$V_B=\pi(R_c^2-r^2)/2*h$

R_c – радіус шнека; r – радіус сердечника; h – висота витка.

$$V_B=3,14(2^2-2,25^2)/2*2,5=42,93 \text{ см}^3$$

$$S_K= \pi H(D-H)$$

$$S_K=3,141,75(10,8-1,75)=49,73 \text{ см}^3$$

$$S_C=R^2/2*(\pi*a/180° - \sin a)$$

$$S_C=5,4^2/2*(3,14*120°/180° – \sin 120°)=18 \text{ см}^2$$

Знаходимо B/cosφ:

$$B/\cos\varphi=42,93/(49,73-18)=1,35$$

$$Q=2*10*1,55[3,14*1,75(10,8-1,75-10,8*0,66/4*2 + 10,8^2/2* \sin (120°/2) –$$
$$–10,8*1,75/2*\sin (120°/2)]*1,35=4116,285$$

Для переведення одиниць продуктивності в кг/год необхідно знати значення густини розплаву матеріалу при 423 К (1,03г/см^3):

$$Q=4116,285*1,03*60/1000=254,39 \text{ кг/год}$$

За результатами розрахунку було вибрано екструдер СМ 80/143 з продуктивністю від 220 до 360 кг/год.

Розрахунок кількості екструдерів

Кількість екструдерів необхідних для виробництва плівки розраховуємо за формулою:

$$N=Q_{заг}/Q*8год$$

$$N=4000/254,39*8=1,96\approx2 \text{ (шт)}$$

Отже, для виготовлення 4000 кг поліетиленової плівки за 8-ми годинну зміну потрібно встановити 2 екструдера та супутнє йому обладнання.

3.5 Дослідження основних характеристик поліетиленових композицій

Було виготовлено набір зразків поліетиленової плівки з різним вмістом наповнювача – 3, 5, 10 та 15% та поліетиленову плівку без наповнювача для можливості зробити порівняльний аналіз.

Для цього наважки гранул ПЕ та порошок з раковин устриць були змішані за температури 160℃. Потім перенесені до муфельної печі. І стиснені залізними

пластинами, попередньо змащеними силіконовим маслом. Час охолодження пластин – 1 хв.

З плівками були проведені наступні досліди:

- Визначення температури плавлення зразків;
- Визначення густини полімерів градієнтним методом;
- Оцінка ступеня кристалічності зразків за показником густини;
- Визначення показника текучості розплаву;
- Визначення відносного подовження при розриві.

Визначення температури плавлення

У пробірку поклали зразок полімеру і 30-50 г твердого парафіну, закрили її пробкою з термометром і вставили у другу пробірку більшого діаметра, що кріпиться на штативі. Пробірку нагрівали із швидкістю підйому температури 3-5ºС/хв. Парафін розплавляється і, покриваючи полімер, витісняє повітря, що знаходиться між частками матеріалу. Це перешкоджає його окисленню киснем повітря при підвищеній температурі. Помічали температуру, при якій зразок починає прилипати чи до термометра, чи до стінок пробірки. Ця температура є початковою температурою плавлення; кінцеву температуру відзначили при повному розплавленні зразка полімеру. Отриманий результат внесли в таблицю 5.

Таблиця 5.

Температура плавлення композицій поліетилену з додаванням порошку з мушель устриць

Зразок	$t_{плав.}$, ºС
ПЕ	160
ПЕ+3% домішки	165
ПЕ +5%домішки	165
ПЕ +10%домішки	172
ПЕ +15%домішки	178

Можна помітити залежність температури плавлення від відсоткового вмісту домішки. Цю залежність можна зобразити у вигляді графіка. На рисунку 9 наведено температури плавлення від вмісту порошку з мушель устриць.

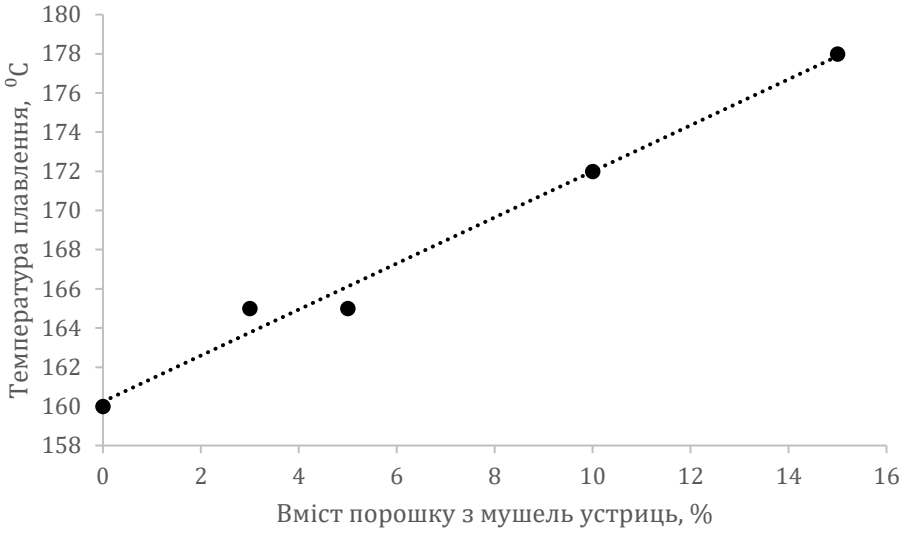


Рис. 9 Залежність температури плавлення від вмісту порошку з мушель устриць

Як видно з графіка зростання кількості порошку з мушель устриць призводить до зростання температури плавлення композиції від 160°С для чистого поліетилену до 178°С для композиції з 15% домішки.

Визначення показника течії розплаву

Показник плинності розплаву (ПТР, індекс розплаву) – умовна величина, яка характеризує поведінку термопластичного полімеру у в'язкотекучому стані при переробці його в вироби.

Показник плинності розплаву визначається кількістю матеріалу (в грамах), що видавлюється через стандартний капіляр екструзійного пластометра (віскозиметра) при певних умовах і перерахованого на час перебігу 10 хв.

За значеннями показника плинності розплаву можна орієнтовно оцінити в'язкість розплаву в умовах випробувань.

Визначення показника плинності розплаву термопластів проводять на приладі ІІРТ-М. Принцип дії приладу заснований на вимірюванні швидкості течії розплаву через калібрований капіляр при певному значенні тиску і температури. Необхідний тиск на матеріал створюється за допомогою поршня з вантажем.

Перед випробуванням для досліджуваних матеріалів вибирають необхідну температуру і навантаження. Для дослідження наших зразків було обрано: t = 200°С та $m_{груза}$= *2,16* кгс.

Нагрівають екструзійну камеру і поршень приладу до потрібної температури, витримують протягом 15 хв і вводять наважку випробуваного матеріалу в канал приладу. Величина наважки матеріалу залежить від передбачуваного значення показника плинності розплаву.

В нашому випадку очікуємо показник плинності в межах 3,5-10 г/10хв, тому обираємо наважку 6г та інтервали часу між двома відсіканнями матеріалу 10-15с.

У міру заповнення екструзійної камери полімером з метою видалення бульбашок повітря ущільнюють матеріал з допомогою спеціального латунного поршня.

Після заповнення екструзійної камери полімером зверху в канал вводять поршень з вантажем. Після цього під тиском видавлюють за допомогою пристрою, що видавлює, одну третину випробуваного матеріалу. Відрізок, що витік, видаляють, після чого звільняють вантаж. Навантажений поршень при цьому буде опускатися сам. Коли нижня мітка на поршні наблизиться до верхнього краю циліндра, засікаємо час і одночасно відрізаємо за допомогою ножа екструдат і видаляють його. Наступні відрізки полімеру (не менше трьох) відрізають через рівні проміжки часу – 15с.

Для визначення показника плинності розплаву отримані відрізки зважують окремо з точністю 0,001 г і виводять середню масу. При цьому прутки, що містять бульбашки повітря, в розрахунок не приймають.

Показник плинності розплаву полімеру обчислюють за формулою:

$$\text{ПТР} = 600 \times \frac{m}{t},$$

де 600 – стандартний час, рівний 600 с; m – середня маса екструдованих відрізків, г; t – проміжок часу між двома послідовними зрізами відрізків, с.

За результат випробувань приймаємо середнє арифметичне результатів двох визначень на трьох відрізках матеріалу, розбіжність по масі між якими не перевищує 5%.

Розрахунки.

Плівка ПЕ. Було відібрано 5 відрізків полімеру, загальна вага яких 0,43г.$m =$

$$\frac{0{,}43}{5} = 0{,}086(\text{г}),$$

$$\text{ПТР} = \frac{0{,}086 \times 600}{30} = 1{,}72\,\frac{\text{г}}{10\text{хв}}$$

Плівка ПЕ+3%домішки. Відібрано 7 відрізків полімеру, загальна вага яких 1,07г.

$$m = \frac{1{,}07}{7} = 0{,}1528(\text{г}),$$

$$\text{ПТР} = \frac{0{,}1528 \times 600}{15} = 6{,}11\left(\frac{\text{г}}{10\text{хв}}\right)$$

Плівка ПЕ+5%домішки. Відібрано 3 відрізки полімеру, загальна вага яких 0,621г.

$$m = \frac{0{,}621}{3} = 0{,}207(\text{г}),$$

$$\text{ПТР} = \frac{0{,}207 \times 600}{15} = 8{,}28\left(\frac{\text{г}}{10\text{хв}}\right)$$

Плівка ПЕ+10%домішки. Було відібрано 8 відрізків плівки, загальною вагою 1,98г.

$$m = \frac{1{,}98}{8} = 0{,}2475(\text{г}),$$

$$\text{ПТР} = \frac{0{,}2475 \times 600}{15} = 9{,}9\left(\frac{\text{г}}{10\text{хв}}\right)$$

Плівка ПЕ+15%домішки. Було відібрано 5 відрізків плівки загальною масою 0,96г.

$$m = \frac{0{,}96}{5} = 0{,}14(\text{г}),$$

$$\text{ПТР} = \frac{0{,}14 \times 600}{10} = 11{,}4\left(\frac{\text{г}}{10\text{хв}}\right)$$

Помітна залежність показника плинності розчину від вмісту домішки у складі композиції – зі збільшенням вмісту домішки в композиції поліетилену ПТР збільшується. Результати були зібрані у таблиці 6.

Таблиця 6.

Показник течії розплаву полімерної композиції

Зразок	Показник течії, г/10хв
ПЕ	1,72

ПЕ+3%домішки	6,11
ПЕ+5%домішки	8,28
ПЕ+10%домішки	9,9
ПЕ+15%домішки	11,4

На рисунку 10 наведено графік залежності показника течії розплаву від вмісту порошку з мушель устриць.

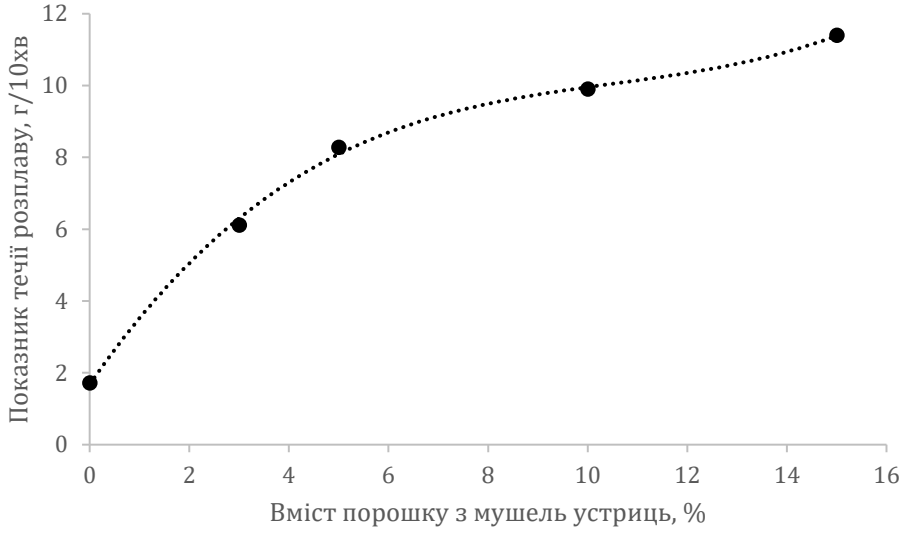


Рис. 10. Залежність показника течії розплаву від вмісту порошку з мушель устриць

Показник течії розплаву полімерної композиції зростає з 1,72 г/10хв для чистого поліетилену до 11,4 г/10хв для композиції з вмістом домішки 15%. Завдяки чому можна полегшити процес переробки поліетилену у плівки методом екструзії. Для побудови калібровочної кривої були використані 4 скляні кульки, попередньо відомої густини. Визначили висоту зразків в трубі. Результати внесли в таблицю 7.

Таблиця 7.

Результати вимірювання висоти розміщення стандартних кульок

	Висота труби, см	Густина кульок, кг/м^3
1	12,6	0,922
2	18,4	0,917
3	21,7	0,9041
4	22	0,8894

За отриманими даними побудували калібровочну криву (рисунок 11).

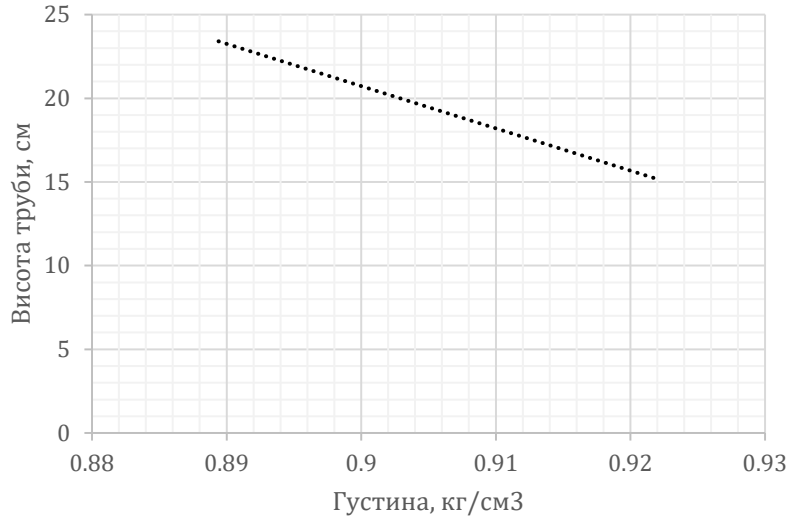


Рис 11 Калібровочний графік визначення густини полімерної композиції за розміщенням в градієнтній трубі

Зразки перенесли в трубу. Заміряли висоту положення зразків в трубі.

Зразок, який містив 15% домішки виявився занадто важким для нашої суміші рідин. Виміряти його щільність не вдалось.

По калібровочній кривій визначаємо густину наших зразків.

Дані зобразили у вигляді табл.8.

Таблиця 8.

Дані дослідження густини полімерних зразків

Зразок	Висота труби, см	Густина зразків, кг/м^3
ПЕ	22,5	0,894
ПЕ+3% домішки	22,4	0,8945
ПЕ+5% домішки	23,5	0,8958
ПЕ+10% домішки	19,4	0,9054

На рисунку 12 наведено залежність щільності полімерної композиції від вмісту порошку з раковин устриць.

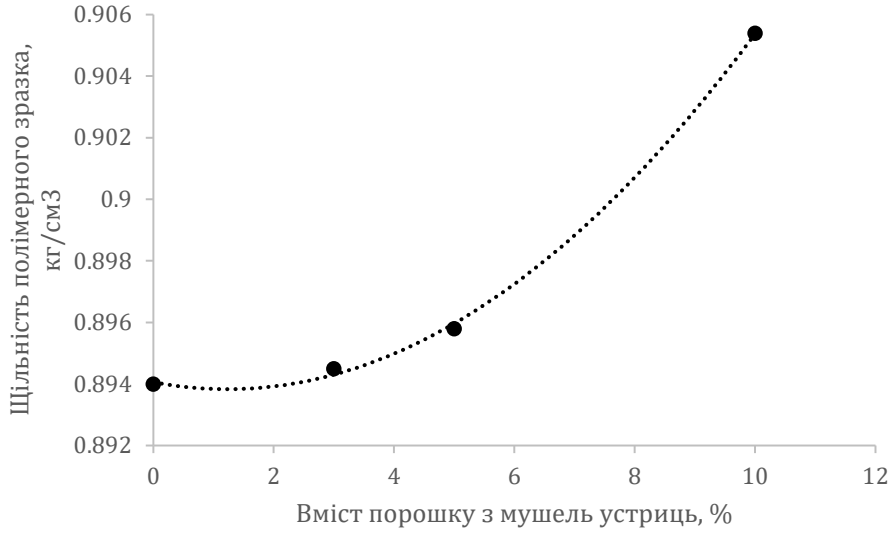


Рис. 12. Залежність щільності полімерної композиції від вмісту порошку з раковин устриць

Щільність полімерних композицій із зростанням вмісту порошку з мушель устриць зростає з 0,894 кг/см^3 для чистого поліетилену до 0,9054 кг/см^3 для композиції із вмістом добавки 10%. Для композиції з 15% порошку з мушель устриць методом градієнтної труби не вдалося визначити щільність так як зразок впав на дно.

Оцінка ступеня кристалічності зразків за показником густини

Виміряна густина дозволяє розрахувати ступінь кристалічності (x_c) двох видів: вагову ступінь кристалічності та об'ємну ступінь кристалічності.

Вагову ступінь кристалічності розраховується за формулою:

$$w_c = \frac{\rho_c}{\rho}\left(\frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a}\right)$$

Об'ємна ступінь кристалічності розраховується за формулою:

$$\upsilon_c = \frac{V_c}{V} = \frac{\rho - \rho_a}{\rho_c - \rho_a}$$

Розрахунки.

Значення густини кристалічної та аморфної фаз поліетилену:

$$\rho_c = 0{,}930 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3;\ \rho_a = 0{,}850 \times 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

По визначеним густинам розраховуємо ступінь кристалічності зразків:

Поліетилен

$$w_c = \frac{0,930}{0,894}\left(\frac{0,894 - 0,850}{0,930 - 0,850}\right) = 0,572$$

$$\upsilon_c = \frac{0,894 - 0,850}{0,930 - 0,850} = 0,55$$

ПЕ+3%домішки

$$w_c = \frac{0,930}{0,8945}\left(\frac{0,8945 - 0,850}{0,930 - 0,850}\right) = 0,578$$

$$\upsilon_c = \frac{0,8945 - 0,850}{0,930 - 0,850} = 0,556$$

ПЕ+5%домішки

$$w_c = \frac{0,930}{0,8958}\left(\frac{0,8958 - 0,850}{0,930 - 0,850}\right) = 0,594$$

$$\upsilon_c = \frac{0,8958 - 0,850}{0,930 - 0,850} = 0,572$$

ПЕ+10%домішки

$$w_c = \frac{0,930}{0,9054}\left(\frac{0,9054 - 0,850}{0,930 - 0,850}\right) = 0,71$$

$$\upsilon_c = \frac{0,9054 - 0,850}{0,930 - 0,850} = 0,692$$

Результати розрахунку вагової і масової ступенів кристалічності зведені в таблиці 9.

Таблиця 9.

Залежність вагової та масової ступенів кристалічності полімерної композиції від вмісту порошку з раковин устриць

Зразок	Вагова ступінь кристалічності	Об’ємна ступінь кристалічності
ПЕ	0,572	0,55
ПЕ+3% домішки	0,578	0,556
ПЕ +5%домішки	0,594	0,572
ПЕ +10%домішки	0,71	0,692

Визначення відносного подовження при розриві

Випробування полягають у розтягуванні зразка плівки до моменту розривання і вимірюванні навантаження та видовження під час розривання, а також залишкового видовження після розривання. Для проведення випробувань

використовують розривні машини з маятниковими силовимірювачами, а також розривні машини для визначення міцності пластмас.

Перед випробуванням перевіряють справність розривної машини, швидкість руху нижнього затискача, точність установки стрілок на нуль. Зразок закріплюють у затискачах строго по мітках А - А1 так, щоб велика вісь зразка збігалася з напрямом розтягнення. Пускають у хід механізм розтягування, фіксуючи навантаження, відповідні заданому подовженню. Після розриву зразка записують значення навантаження, що відповідає положенню нерухомої стрілки, і значення подовження за шкалою подовжень. При фіксуванні значень будь-яких показників очі повинні знаходитися на одному рівні з розподілом шкали. При розриві поза робочою ділянкою результати випробувань не враховуються.

Через одну хвилину після розриву вимірюється з точністю до 0,5 мм довжина робочої ділянки складеного зразка. Число випробовуваних зразків від кожної проби має бути не менше п'яти.

Встановлено, що внесення добавки в композицію, сприяє підвищенню показника відносного подовження при розриві вдвічі (рис.13), тобто матеріал стає більш еластичним зі збільшенням вмісту порошку з раковин устриць в ньому.

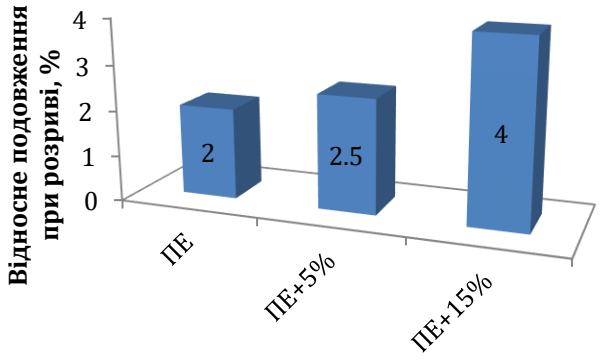


Рис.13. Залежність відносного подовження при розриві від вмісту в композиції поліетилену з додаванням порошку з раковин устриць

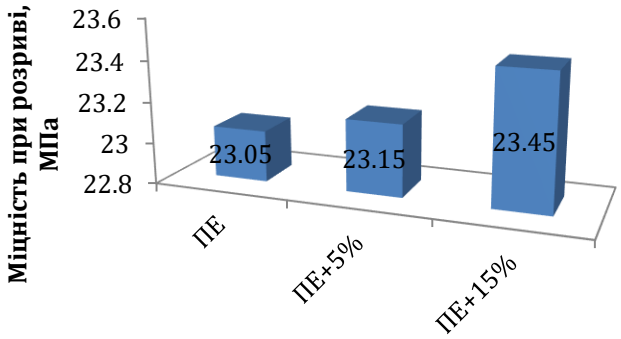


Рис. 14. Залежність міцності при розриві від вмісту в композиції поліетилену з додаванням порошку з раковин устриць

За аналізом фізико-механічних властивостей на міцність при розриві та відносне видовження додавання порошку з раковин устриць знижує міцність композиції поліетилену при збільшенні відносного подовження при розриві.

4.Екологічна безпека

Правовий порядок здійснення господарської діяльності в Україні ґрунтується на обов'язковому дотриманні принципу легітимності її здійснення. Основою цього принципу є безумовне виконання суб'єктом господарювання обов'язків – не завдавати шкоди навколишньому середовищу та не порушувати права та законні інтереси громадян і їх об'єднань, інших суб'єктів господарювання, установ, організацій та органів місцевого самоврядування і держави.

В разі недотримання в своїй господарській діяльності вимог екологічної безпеки, так само, як і при завданні шкоди навколишньому середовищу, фізична особа підприємець чи будь-яка юридична особа або її посадові особи несуть цивільну, адміністративну, а в деяких випадках і кримінальну відповідальність. Саме тому, будь-яка юридична особа або підприємець повинні бути зацікавлені в організації роботи з дотримання екологічної безпеки під час здійснення ними своєї господарської та іншої діяльності. Насамперед визначимо – що таке екологічна безпека та в чому вона полягає для підприємства, установи, організації або фізичної особи підприємця.

Екологічна безпека – це стан навколишнього природного середовища, при якому забезпечується попередження погіршення екологічної обстановки та виникнення небезпеки для здоров'я населення. Дотримання такого стану забезпечується державою шляхом запровадження широкого комплексу взаємопов'язаних економічних, технічних, організаційних, державно-правових та інших заходів, направлених на реалізацію екологічних прав громадян України. Епоксидні смоли досі використовуються в багатьох сферах людської діяльності. Світове виробництво епоксидних композицій перевищує 1 млн тонн на рік. З метою підвищення безпеки матеріалів, отриманих з епоксидних смол, застосовують хімічну модифікацію. Одним з найбільш ефективних методів модифікації є додавання антипіренів на стадії виробництва смоли. Вогнезахисні речовини уповільнюють займання та горіння завдяки тому, що містять антипірени (фосфати амонію, бор, хлорид амонію), синергісти (речовини, що підсилюють дію основного сповільнювача) та стабілізатори, що обмежують споживання сповільнювача [83]. Враховуючи специфічні властивості полімерних матеріалів (вони не зазнаЗгідно з Законом України "Про охорону праці" (ст.23) служба охорони праці створюється власником підприємства для організації виконання правових, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних, соціально – економічних і лікувально – профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасних випадків, професійних захворювання і аварій в процесі праці.

Служба охорони праці вирішує завдання:

1) забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування будівель і споруд;
2) забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;
3) професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці, пропаганди безпечних методів праці;
4) вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;
5) професійного добору виконавців для визначених видів робіт
6) Служба охорони праці виконує такі основні функції:

7) опрацьовує ефективну цілісну систему управління охороною праці, сприяє удосконалення діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;
8) проводить оперативно – методичне керівництво роботою з охорони праці;
9) проводить для працівників вступний інструктаж з питань охорони праці;
10) організовує: забезпечення працюючих правилами, стандартними, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами
11) з охорони праці; паспортизацією цехів, дільниць, робочих місць щодо відповідальності їх вимогами охорони праці; облік, аналіз нещасних випадків, професійних захворювань і витрати, а також шкоди від цих
12) подій; підготовку статистичних звітів підприємства з питань охорони праці; розробку перспективних та поточних планів роботи підприємства щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці; роботу методичного кабінету охорони праці, пропаганду безпечних та нешкідливих умов праці шляхом проведення консультацій, оглядів, конкурсів, бесід, лекцій, розповсюдження засобів наочної агітації; оформлення інформаційних стендів;допомогу комісії з питань охорони праці підприємства в опрацьовані необхідних матеріалів та реалізації її рекомендацій; підвищення кваліфікації і перевірку знань посадових осіб з питань охорони праці;
13) бере участь у: розслідуванні нещасних випадків та аварій; формування фонду охорони праці підприємства; роботі комісії по введенню в дію закінчених будівництвом, реконструкцією або технічним переозброєнням об’єктів виробничого та соціального призначення, відремонтованого або модернізованого устаткуванням; розробці положення інструкцій, інших нормативних актів про охорону праці, що діють в межах підприємства; роботі постійно діючої комісії з питань атестації робочих місць за умовами праці.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів діючих на працівника

Небезпечним називається виробничий фактор, дія якого на робітника у певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення

здоров’я. Якщо ж виробничий фактор призводить до захворювання або зниження працездатності, то його вважають шкідливим.

В залежності від рівня та тривалості дії шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним. Приводиться класифікація елементів умов праці, що виступають в ролі небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Вони поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться: підвищена запиленість і загазованість робочої зони, підвищена або знижена температура повітря робочої зони, підвищені рівні шуму, вібрації, підвищена або знижена вологість, підвищені рівні статичної електрики, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла.

До психофізичних небезпечних та шкідливих факторів відносяться фізичні (статичні та динамічні) та нервопсихічні перевантаження (монотонність праці та ін.)

В результаті дії на працівників цих факторів можуть виникати професійні захворювання: ревматизм, дерматит, захворювання легеневих шляхів, захворювання очей та погіршення зору.

Комплексну кваліфікаційну оцінку робочого місця з точки зору відповідності гігієнічним вимогам представляє атестація робочих місць. Атестаційна комісія заповнює “Карту умов праці” – документ в якому вказується кількісні та якісні характеристики факторів, їх нормативні фактори та фактичні. Якщо шкідливі та небезпечні виробничі фактори відсутні або відносяться до першого ступеня третього класу шкідливості та небезпечності, то умови праці слід визначати такими, що відповідають гігієнічним вимогам.

Параметрами шкідливих та небезпечних факторів контролюються приладами. Параметрами мікроклімати здійснюють за допомогою термометрів, психометрів, гігрографів, анемометрів. Аналіз шкідливостей у повітрі здійснюють за допомогою автоматичних приладів, які налагоджуються на певний рівень концентрації, при досягненні якого може подаватися сигнал (звуковий, світловий, звуко – світловий), використовуються різні газоаналізатори. При контролі

повітряного середовища на запиленість використовується ваговий (гравіметричний), лічильний (кіно метричний, фотоелектричний, електрометричний та інші методи). Достатність освітлення визначається люксметрами. Параметри шуму та вібрації вимірюються шумомірами та вібровимірювальною апаратурою, що оснащена аналізаторами – електричних фільтрів, що пропускають сигнал у певній смузі частоти – октавні. ють гниття, корозії), проблема їхньої утилізації носить насамперед екологічний характер. Загальний обсяг поховання твердих побутових відходів становить близько 4 млн. т на рік. Від загального рівня відходів переробляються лише 5...7 % їхньої маси. За даними на 1998 р. у середньому склад твердих побутових відходів, що постачаються на поховання, 8% складає пластмаса, тобто. 320 тис. тонн на рік.

Згідно з Законом України “Про охорону праці” (ст.23) служба охорони праці створюється власником підприємства для організації виконання правових, організаційно – технічних, санітарно – гігієнічних, соціально – економічних і лікувально – профілактичних заходів, спрямованих на запобігання нещасних випадків, професійних захворювання і аварій в процесі праці.

Служба охорони праці вирішує завдання:

1) забезпечення безпеки виробничих процесів, устаткування будівель і споруд;
2) забезпечення працівників засобами індивідуального та колективного захисту;
3) професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці, пропаганди безпечних методів праці;
4) вибору оптимальних режимів праці і відпочинку працівників;
5) професійного добору виконавців для визначених видів робіт
6) Служба охорони праці виконує такі основні функції:
7) опрацьовує ефективну цілісну систему управління охороною праці, сприяє удосконалення діяльності у цьому напрямку кожного структурного підрозділу і кожної посадової особи;
8) проводить оперативно – методичне керівництво роботою з охорони праці;
9) проводить для працівників вступний інструктаж з питань охорони праці;

10) організовує: забезпечення працюючих правилами, стандартними, нормами, положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами
11) з охорони праці; паспортизацією цехів, дільниць, робочих місць щодо відповідальності їх вимогами охорони праці; облік, аналіз нещасних випадків, професійних захворювань і витрати, а також шкоди від цих
12) подій; підготовку статистичних звітів підприємства з питань охорони праці; розробку перспективних та поточних планів роботи підприємства щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці; роботу методичного кабінету охорони праці, пропаганду безпечних та нешкідливих умов праці шляхом проведення консультацій, оглядів, конкурсів, бесід, лекцій, розповсюдження засобів наочної агітації; оформлення інформаційних стендів;допомогу комісії з питань охорони праці підприємства в опрацьовані необхідних матеріалів та реалізації її рекомендацій; підвищення кваліфікації і перевірку знань посадових осіб з питань охорони праці;
13) бере участь у: розслідуванні нещасних випадків та аварій; формування фонду охорони праці підприємства; роботі комісії по введенню в дію закінчених будівництвом, реконструкцією або технічним переозброєнням об’єктів виробничого та соціального призначення, відремонтованого або модернізованого устаткуванням; розробці положення інструкцій, інших нормативних актів про охорону праці, що діють в межах підприємства; роботі постійно діючої комісії з питань атестації робочих місць за умовами праці.

Аналіз шкідливих та небезпечних факторів діючих на працівника

Небезпечним називається виробничий фактор, дія якого на робітника у певних умовах призводить до травми або іншого раптового різкого погіршення здоров’я. Якщо ж виробничий фактор призводить до захворювання або зниження працездатності, то його вважають шкідливим.

В залежності від рівня та тривалості дії шкідливий виробничий фактор може стати небезпечним. Приводиться класифікація елементів умов праці, що

виступають в ролі небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Вони поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізичні.

До фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів відносяться: підвищена запиленість і загазованість робочої зони, підвищена або знижена температура повітря робочої зони, підвищені рівні шуму, вібрації, підвищена або знижена вологість, підвищені рівні статичної електрики, недостатнє освітлення робочої зони, підвищена яскравість світла.

До психофізичних небезпечних та шкідливих факторів відносяться фізичні (статичні та динамічні) та нервопсихічні перевантаження (монотонність праці та ін.)

В результаті дії на працівників цих факторів можуть виникати професійні захворювання: ревматизм, дерматит, захворювання легеневих шляхів, захворювання очей та погіршення зору.

Комплексну кваліфікаційну оцінку робочого місця з точки зору відповідності гігієнічним вимогам представляє атестація робочих місць. Атестаційна комісія заповнює “Карту умов праці” – документ в якому вказується кількісні та якісні характеристики факторів, їх нормативні фактори та фактичні. Якщо шкідливі та небезпечні виробничі фактори відсутні або відносяться до першого ступеня третього класу шкідливості та небезпечності, то умови праці слід визначати такими, що відповідають гігієнічним вимогам.

Параметрами шкідливих та небезпечних факторів контролюються приладами. Параметрами мікроклімати здійснюють за допомогою термометрів, психометрів, гігрографів, анемометрів. Аналіз шкідливостей у повітрі здійснюють за допомогою автоматичних приладів, які налагоджуються на певний рівень концентрації, при досягненні якого може подаватися сигнал (звуковий, світловий, звуко – світловий), використовуються різні газоаналізатори. При контролі повітряного середовища на запиленість використовується ваговий (гравіметричний), лічильний (кіно метричний, фотоелектричний, електрометричний та інші методи). Достатність освітлення визначається люксметрами. Параметри шуму та вібрації вимірюються

шумомірами та вібровимірювальною апаратурою, що оснащена аналізаторами – електричних фільтрів, що пропускають сигнал у певній смузі частоти – октавні.

ВИСНОВКИ

В магістерській дипломній роботі розроблено технологію та досліджено композицію виготовлення поліетиленової плівки.

У огляді літературних джерел в галузі одержання поліетиленової плівки методом екструзії було зроблено аналіз одержання поліетилену, методів виробництва плівки, стану проблеми відходів виробництва устричних ферм.

Обґрунтовано технологічну схему виробництва поліетиленової плівки методом екструзії з додаванням порошку з мушель устриць. Зроблено розрахунок екструзійного обладнання та визначено, що 2 екструдера буде достатньо для забезпечення потужності 4000 кг за зміну.

Запропоновано для вирішення екологічної проблеми забруднення навколишнього середовища використовувати порошок з раковин устриць в якості наповнювача ПЕ-композиції для виготовлення плівки та досліджено їх властивості, з різною масовою часткою порошку.

Встановлено, що зростання кількості порошку з мушель устриць призводить до зростання температури плавлення композиції від 160°С для чистого поліетилену до 178°С для композиції з 15% домішки.

Щільність полімерних композицій із зростанням вмісту порошку з мушель устриць зростає з 0,894 кг/см^3 для чистого поліетилену до 0,9054 кг/см^3 для композиції із вмістом добавки 10%.

Показник течії розплаву полімерної композиції зростає з 1,72 г/10хв для чистого поліетилену до 11,4 г/10хв для композиції з вмістом домішки 15%. Завдяки чому можна полегшити процес переробки поліетилену у плівки методом екструзії.

Застосування раковин устриць в якості наповнювачів поліетиленових композицій також сприятиме поліпшенню екологічної ситуації в Миколаївській та Одеській областях, де ця проблема з’явилась в результаті роботи устричних ферм.

В дипломному магістерському проекті передбачені заходи з екологічної безпеки та охорони праці. Розроблений генеральний план заводу та план цеху

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Українська радянська енциклопедія: у 12 т. / гол.ред. М. П. Бажан; редкол.: О. К. Антонов та ін. — 2-ге вид. — Київ: Головна редакція УРЕ, 1974–1985. – 1408 с.
2. Суровцев Б.О. Хімічна технологія виробництва полімерів: Навчальний посібник / О.Б. Суровцев, І.А. Мандзюк. – Хмельницький: ТУП, 2003. – 250 с.
3. Андреас Ф., Гребе К. Хімія і технологія пропілена //Л.: Хімія. – 1973. – 70-88 с.
4. Уайт Дж., Чой Д. Поліетилен і поліпропілен. Серія Полімери та полімерні матеріали. Професія, 2006. -240 с.
5. Помогайло А.Д. Молекулярні полімерні композиції. Синтетичні аспекти. *Успіхи хімії*. 2002 № 71.1. 5-38 с.
6. Айданова Е.Р. Поліпропілен від складу, побудови до технології отримання. *Новые технологии-нефтегазовому региону*. 2013 №7. 6-45 с.
7. Енциклопедія полімерів. ред. колегія: Кабанов В.А. та інші. М.: 1974г. т. 2. - 1785 с.
8. Николаев А.Ф. Синтетичні полімери та пластичні маси на їх основі. Хімія, 1966. -349с.
9. Катаева В.М., Попова В.А., Сажина Б.И. Пластичні маси. Довідник. : Хімія, 1975. -131с.
10. Хімічна єнциклопедія т. 3 / редкол.: Кнунянц И.Л. и др. : Хімія, 1992 - 641с.
11. Busico V., Cipullo R. Microstructure of polypropylene //Progress in Polymer Science. – 2001. – Т. 26. – №. 3. – 443-533 с.
12. Нельсон У.Е. Технология пластмасс на основе. – Пер с англ. / под ред. Малкіна А.Я. Хімія, 1979 -256с.
13. Холмс-Уолкер В.А. Переробка полімерних матеріалів. - Пер. с англ. / под ред. Фридмана М.Л.- Хімія, 1979 -304с.

14. Власов С.В., Кандирін Л.Б., Кулезньов В.Н. та інші. Основи технології та переробки пластиків, Москва. 2006. -250 с.
15. Сагалаев Г.В., Абрамов В.В., Кулезнев В.Н., Власов С.В., Технрологія виробів із пластмас. Довідник. - Хімія. 2000. – 540с.
16. Tao G. et al. Surface functionalized polypropylene: synthesis, characterization, and adhesion properties //*Macromolecules.* – 2001. – Т. 34. – №. 22. – 7672-7679 с.
17. Вироби із пластмас. Довідковий посібник з вибору, застосування та переробки. Николаев А.Ф. - НПКП Радіопласт, 1992. -365 с.
18. Бізін Д. А. Каталітична полімерізація олефінів з використанням перехідних комплексів *//Іновації. Інтелект. Культура.* – 2014. – 9-13 с.
19. Салахов И. И. и др. Полімеризація поліпропілену в рідкому мономері у присутності сучасних високоефективних титанмагнієвих//Каталіз у промисловості. – 2014. – №. 2. – 27-31 с.
20. Букатов Г. Д. и др. Нанесені титанмагнієві каталізатори полімеризації//Кінетика та каталіз. – 2008. – Т. 49. – №. 6. – 824-832 с.
21. Котомкин Р. А., Гвоздков Е. Л. Хімічна модифікація атактичного поліпропілену // Хімія та хімічна технологія у XXI столітті: матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені професора *ЛП Кульова*, 17–20 мая 2016 г., 2016. – 546-547 с.
22. Нагірняк Я. І., Голембовська Н. В. Харчова та біологічна цінність молюсків //Науковий погляд у майбутнє . – 2016. – Т. 3. – С. 54-57.
23. Ким В.С. Теорія і практика єкструзії полімерів. Хімія, 2005. - 568 с.
24. Холмс-Уолкер В.А. Переробка полімерних матеріалів - Пер. з англ. / під ред. Фридмана М.Л.- Хімія, 1979 -304 с.
25. Э. Фішер. Єкструзія пластичних мас. Хімія, 1980. -470с.
26. Кербер М.Л. та інші. Полімерні композиційні матеріали структура. Властивості. Технології: навчальний посібник. Професія, 2008. —560 с.
27. Завгородний В.К., Калинчев Э.Л., Махаринский Е.Г. Обладнання підприємств із переробки пластмас. Хімія, 1982. -464 с.

28. Сагалаев Г.В., Абрамов В.В., Кулезнев В.Н., Власов С.В., Технологія виробів із пластмас. Довідник - Хімія. 2000. – 540 с.
29. Івахненко А.Г., Калашнікова М.І., та Передельский Г.І. "Забезпечення якості при виробництві поліпропіленової плівки. Вісті Південно-Західного державного університету №1 (2012): 127-135 с.
30. Сокольський О.Л., Розроблення плоскощілинних головок для екструзійного формування листових та плівкових виробів із полімерних композицій. *Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» №1 (2005):* 60-65 с.
31. Чередніченко П.І., Бакалов В.Г. та Бакалов О.В., Дослідження впливу геометричних розмірів плоскощілинної головки на якість плівки. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки* №3 (2011): 93-99 с.
32. Кукура Ю.А., Кукура В.В., Дослідження поверхневих властивостей поліпропіленових плівок у виробничих умовах. *Поліграфія і видавнича справа* №1 (2010): 107-111 с.
33. Белошенко В.А. *Твердофазна екструзія полімерів. Пластичні маси №7* (2012): 52-59 с.
34. Завгородний В.К. Устаткування для переробки пластмас. Машинобудування, 1976. -348 с.
35. Фомичева Е.Е. Електрофізичні властивості поліпропілену із дисперсними наповнювачами. Герцена, 2011. –20 с.
36. Chan C. M. et al. Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites //polymer. – 2002. – Т. 43. – №. 10. – 2981-2992 с.
37. Леваничев В.В. Модель перебігу розплаву полімеру. Східноєвропейський журнал передових технологій №7 (2013): 39-41 с.
38. Мамбиш С.Е. *Карбонати кальцію у поліолефінах. Пластичні маси* №5 (2008): 3-6 с.

39. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Мікульонок І.О. та інші; НТУУ «КПІ», 2015. -200с.
40. Марков А.В., Кулезнев В.Н. Формування фазової структури та її вплив на властивості орієнтованих плівок із сумішей поліпропілену та поліетилену. Високомолекулярні сполуки. Серія А №50 (2008): 651-658 с.
41. ДСТУ 2300-93. Вібрація. Терміни та визначення. -М., 1993.
42. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Львів: Афіша № 350 (2000): 132-136 с.
43. Рожков А.П. Пожежна безпека на виробництві. Київ: Пожінформтехніка, 1999. -251 с.
44. Ізуїта П.О. Поняття належних та безпечних умов праці. *Форум права* № 2 (2007): 70-74 с.
45. Пушкін С.П., Рабош І.О. Обґрунтування екологічно безпечних параметрів виробництва поліпропіленової плівки. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Серія: Гірництво* №29 (2015): 90-96 с.
46. Баранов Ю. Н. Основи забезпечення безпеки у системі «людина-машина-середовище». Вісник *НЦБЖД* №1 (2014), 73-76 с.
47. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. - Київ, 2000.
48. Гетун Г.В. Основи проектування промислових будівель. Навчальний посібник. - Київ: Кондор, 2009. - 210 с.
49. Зниження горючості полімерів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: http://www.polymery.ru/letter.php?n_id=4345 <7.01.2013>
50. Горіння, деструкція і стабілізація полімерів. / Під. Ред. Заікова Г.Є. - СПб.: Наукові основи і технології. - 2008. - 422 с. - ISBN 987-5-91703002-9.
51. Михайлин, Ю.А. Тепло-, термо- і вогнестійкість полімерних матеріалів.: НОТ. - 2011. - 266 с.

52.Кодола, В.І. Горючість і вогнестійкість полімерних матеріалів: підручник / В.І. Кодола. - М .: Хімія, 1976. - 253с.

53.Заіков, Г. Е. Горіння, старіння і стабілізація полімерів, полімерних сумішей та композитів. Загальні міркування / Г.Є. Заїка // Пластичні маси. - 2010. - №8. - С. 62-64.

54.Баєв, А.А. Зниження горючості епоксидних смол з використанням галогеновмісних епоксид. / А.А. Баєв, А.К. Мікітаев // Пластичні маси. - 1986. - №2. - С.51-53.

55.Амосова, Е.В. Еластичні полімери на основі галогенвмісних епоксидних смол / Е.В. Амосова, Е.В. Дудіна, Н.С. Хахалина і ін. // Пластичні маси. - 1986. - №8. - С.18-19.

56.Панова, Л.Г. Вивчення особливостей поведінки полімерних композиційних матеріалів на основі вогнезахищених поліефірних волокон при піролізі і горінні / Л. Г. Панова, С. Є. Артеменко, В. І. Бесшапошнікова // Високомолекулярні сполуки. - 1988. - Т. 30. - № 10. - С. 2170-2173.

57.Панова, Л.Г. Вплив фосфоровмісних антипіренів на процеси коксоутворення при горінні ПКМ / Л. Г. Панова, С. Є. Артеменко, В.

58.І. Бесшапошнікова // Високомолекулярні сполуки. - 1991. - Сер. А.- Т.33. - № 6. - С. 1180-1185.

59.Тянтова, Е.Н. Вплив фосфору на властивості епоксидного компаунда / О.М. Тянтова, А.П. Суслов, А.М. Кожухов та ін. // Пластичні маси. - 1 988.- №3. - С. 46-48.

60.Амосова, Е. В. Еластичні полімери на основі галогенсодержащих епоксидних смол / Е. В. Амосова, Є. В. Дудіна, Н. С. Хахалина // Пластичні маси. - 1986. - № 8. - С. 18-19.

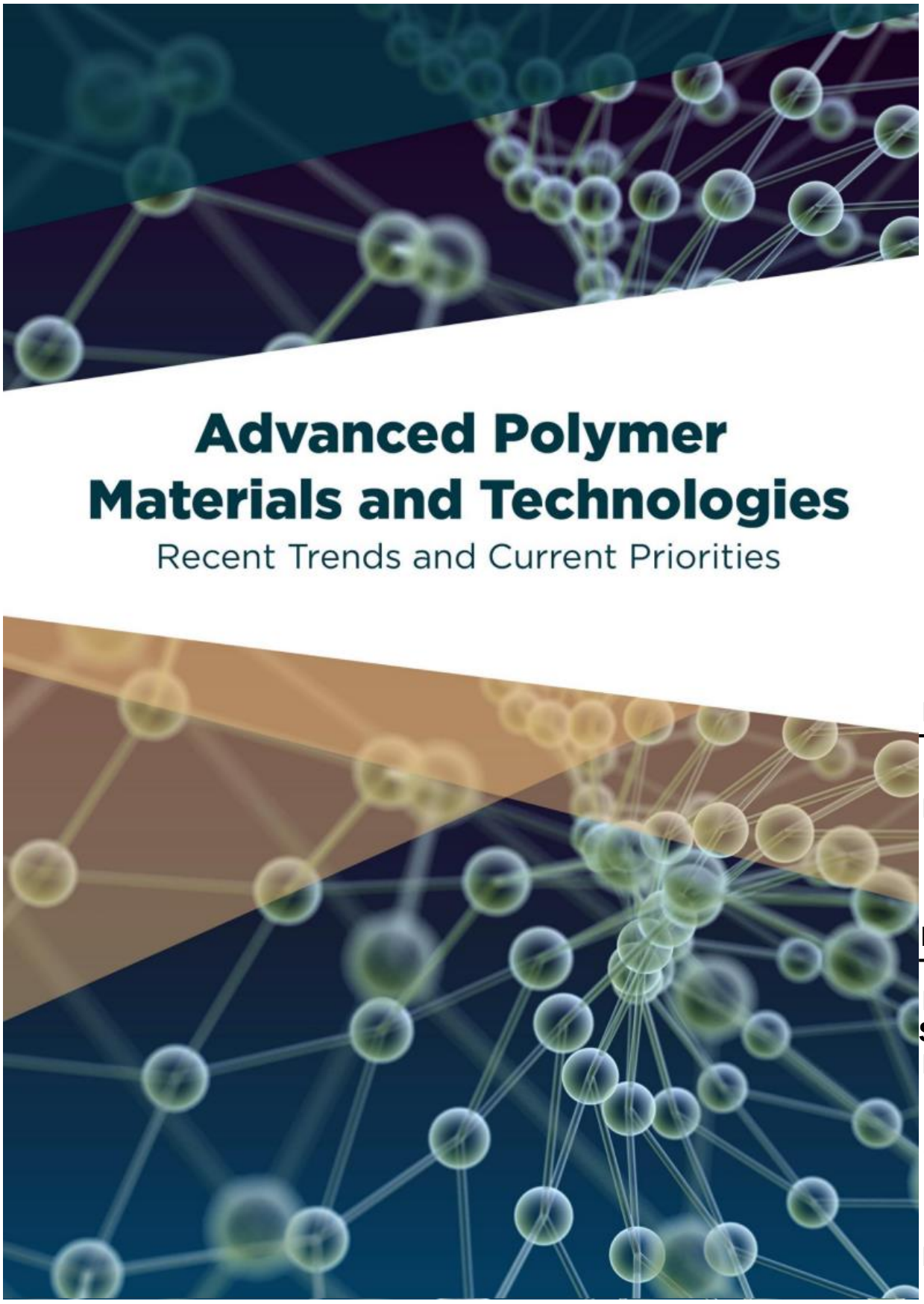
61.Дядченко, А.І. Шляхи зменшення димоутворення і виділення токсичних газів при горінні полімерних матеріалів / А.І. Дядченко, В.В. Копилов, В.С. Воротілова і ін. // Пластичні маси. - 1982. - №10. - С. 49-52.

62. Артемов, В.Н. Реакційноздатні фосфорсодержащие органічні сполуки - ефективні антипірени для міцних важкогорючих епоксидних полімерів / В.Н. Артемов, Н.А. Юрченко, З.Ф. Назарова та ін.
63. // Пластичні маси. - 1983. - №9. - С.44-46.
64. Ломакін, С.М Нові типи екологічно безпечних систем знижують горючість полімерів / С.М. Ломакін, Л.С. Ширяєва, Г.Є. Заїка // Пластичні маси. - 1998. - №5. - С. 78.
65. Конова, Н.М. Зниження горючості за допомогою азотосодержащих з'єднань / Н.М. Конова, В.А. Огнєва, В.С.Воротіліна // Пластичні маси. - 1984. - №1. - С. 53-57.
66. Епоксидна смола [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://mygarden.com.ua/product-category/stroitelnie-materialy/smoly/
67. Дмитро Старокадомскій. Довгий вік епоксидки // Наука і життя. - 2018. - № 1. - С. 66-69.
68. А. Ф. Миколаїв, В. К. Крижанівський, В. В. Бурлов і ін. Технологія полімерних матеріалів / За ред. В. К. Крижановського. - СПб .: Професія, 2008. - 544 с.
69. Хімічні реактори і печі: навч. посібник / В.М. Ульянов; , 2006.
70. Васильцов Е.А., Ушаков В.Г. Апарати для перемішування рідких середовищ: Довідковий посібник. - Л .: Машинобудування, 1979.
71. Воробйова Г.Я. Корозійна стійкість матеріалів в агресивних середовищах хімічних виробництв. - М .: Хімія, 1967.
72. Вікторов М.М. Методи обчислення фізико-хімічних величин і прикладні розрахунки - Л .: Хімія, 1977.
73. Лащинський А.А. Конструювання зварних хімічних апаратів: Довідник. - Л .: Машинобудування, 1981.
74. Кардашов Д.А. Синтетические клеи – М., Химия, 1976.
75. Еселев А. Д., Бобылев В. А. Затверджувачі для клїв на основі епоксидних смол // Клеи. Герметики. Технологии. 2005. № 4. С. 2-8

76. Довідник із пластичних мас / За ред. М. Гарбар. М.: Хімія, 1969. Т. 2. С. 82. Мошинський Л.Я. Епоксидні смоли та затверджувачі (структура, властивості, хімія та топологія затвердіння)/Л.Я. Мошинський - Аркадія прес Лтд, Тель-Авів., 1995 - 370 с.
77. Мошинський, Л.Я. Затверджувачі для епоксидних смол/Л.Я. Мошинський, Е.С. Біла Церква. / НДІТЕХІМ - М., 1983. - 38 с. (Серія:Епоксидні смоли та матеріали на їх основі: оглядова інформ.).
78. ГОСТ 24621-91 (ISO 868-85) Пластмаси та ебоніт. Визначення твердості при вдавлюванні за допомогою дюрометра (твердість Шору).ISO 868 Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).
79. ISO 7619-1:2010 Rubber, vulcanized or thermoplastic -- Determination of indentation hardness -- Part 1: Durometer method (Shore hardness)
80. DIN 53505 Testing of rubber - Shore A and Shore D hardness test.
81. ASTM D2240 - 05(2010) Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness.
82. Екологічна безпека.[Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://protocol.ua/ua/ekologichna_bezpeka_pidpriemstva_pravove_regulyuvannya/
83. Мелешко А.І., Половніков С.П. Вуглець, вуглецеві волокна, вуглецеві композити – М.: «САЙНС-ПРЕС», 2007. – 192 с.
84. Світ матерії. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://worldofmaterials.ru/spravochnik/special-materials/257-uglerodnye-volokna.
85. Утилізація смол. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: «https://www.sak-ekb.ru/utilizaciya-i-pererabotka-smol».
86. Утилізація. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: «https://eko.center/gruppy-othodov/othody-pri-vypolnenii-prochih-vidov-deyatelnosti/uts».

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А



E

V A L U A T I O N O T H E G R A P H I T E U N I F O R M I T Y D I S T R I B U T I O N I N P

VC MATRIX

CONTENTS

1.	**Advanced polymer composites for flexible electrochemical energy storage** V. Khomenko, D. Patlun, B. Savchenko, N. Sova	7
2.	**An experimental study on the properties of recycleted polypropylene highly filled with the sand as a modern composite material** Łukasz Garbacz	14
3.	**Composites based on thermoplastic starch filled with cellulose waste from the food industry** R. Moskal, O. Ishchenko, V. Plavan, I. Liashok, M. Ivaskiv	20
4.	**Current trends in the production of polymer film materials for dental purposes** V. Shvets, V.Plavan, O.Ishchenko, I. Liashok, M.Koliada	25
5.	**Development of a method of acid-polymeric surface modification of clay minerals for wastewater treatment** N. V. Tarasenko, Yu. O. Budash, V. P. Plavan, M. K. Koliada, R. Ya. Petrunko	32
6.	**Development of active films based on modified starches** D. Kuchynska, O. Ishchenko, I. Liashok	38
7.	**Development of epoxy composites resistant to impact loads** O. Sapronov, A. Buketov, L. Sapronova, P. Vorobiov	41
8.	**Development of equipment for theproduction of hydrogel films by centrifugal molding** O. Grytsenko, N. Baran, P. Voloshkevych, O. Strogan	48
9.	**Electrospinning possibilities for natural proteins with bioactive additives** Akvilė Andziukevičiūtė Jankūnienė, Ugnė Zasčiurinskaitė, Aistė Balčiūnaitienė, Jonas Viškelis, Erika Adomavičiūtė, Carmen Gaidau, Maria Rapa, Virgilijus Valeika, Virginija Jankauskaitė	57
10.	**Evaluation of the graphite uniformity distribution in PVC matrix** Dmytro Novak, Natalia Bereznenko, Valentyn Vasylenko, Kyrylo Chistylin	64
11.	**Features in obtaining hydrogel dressings for medical purposes** O. Grytsenko, N. Baran, O. Kushta, M. Panas	70
12.	**Features of the protective effect of modified titanium dioxide in coatings based on epoxy compositions** T. Humenetskyi, N. Chopyk, K. Bratash	80
13.	**Filtration drying of food industry waste** O. Ivashchuk, V. Atamanyuk, R. Chyzhovych, Z. Hnativ, S. Kiiaieva	85

DMYTRO NOVAK[1], NATALIA BEREZNENKO[2], VALENTYN VASYLENKO[1], KYRYLO CHISTYLIN[1]

[1]*Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine, Kyiv, Nemyrovycha-Danchenka Street, 2, novak.knutd@gmail.com*

[2]*State Research Institute of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Ukraine, Kyiv, Y. Gutsalo Lane, 4a*

Abstract: Evaluation of the graphite brand MCMB (TB-17) uniformity distribution in the emulsion polyvinyl chloride brand Vinnolit EP 6854 matrix was conducted using developed software. Python programming language and libraries: PIL, Numpy, Matplotlib, Xlsxwriter were used for software development.

Introduction

To assess the homogeneity of the distribution of filler particles in composite materials, you can use the segmentation method (dividing the image into areas for which a homogeneity criterion is met, for example, highlighting areas of approximately the same brightness or the ratio of the pixels on the image). The concept of an image area is used to define a related group of image elements that have certain common features (properties) [1].

Segmentation of non-trivial images is one of the most difficult tasks in digital image processing. Very often, the final result of computer analysis of images depends on the accuracy of segmentation, therefore considerable attention should be paid to increasing the reliability of the segmentation algorithm [2].

One of the main and simplest ways is to build a segmentation using a threshold. The threshold is a feature (property) that helps to divide the desired signal into classes. The operation of threshold division is based on matching the brightness value of each pixel of the image with a given threshold value. Choosing the appropriate threshold value makes it possible to select areas of a certain type on the image.

The threshold division operation, which results in a binary image, is called binarization. The purpose of the binarization operation is to radically reduce theamount of information contained in the image. In the process of binarization, the original halftone image, which has a certain number of brightness levels, is transformed into a black-and-white image, the pixels of which have only two values - 0 and 1. Since the amount of information in the binary image is less than in the halftone image, then the binary image easier to process, store and forward [3].

The purpose of the work is to evaluate graphite uniformity distribution in a PVC matrix. In order to achieve this purpose, it was necessary to graphically analyze the filler distribution in the polymer matrix, convert obtain data into a binary image, cluster binary images and calculate the mixing index of these composites.

Materials and methods

The Python programming language and libraries: PIL, Numpy, Matplotlib, Xlsxwriter were used to develop the software designed to evaluate the homogeneity of the filler distribution in the PVC matrix. A BIOLAM type optical microscope was used for optical microscopy. Using the Image module of the PIL library and the convert method, images obtained from an optical microscope were converted into binary. The resulting microphotographs were converted into a data array using the Numpy library and the Asarray method. After conversion, the process of dividing the data array into subarrays took place [4].

To study the uniform distribution of particles of different types of fillers in the films cluster method of image analysis was used for further statistical analysis of data [5]. For this method micrographs of films conventionally were divided into a given number of areas and the concentration of the dispersed phase in each cluster was determined. The uniformity of particles distribution in the films was assessed to rate of mixing index (Kn.), which is the ratio of the standard deviation of the concentration of particles in clusters (S) to their average concentration in the sample (Pm.):

$$Kn. = (S / Pm.) \times 100\%$$

To obtain the researched composites polyvinyl chloride (PVC) brand Vinnolit EP 6854 was chosen as the polymer matrix filled by graphite brand MCMB (TB-17). Dioctyl Phthalate (DOP) was used as a plasticizer.

Preparation of the compositions was carried out using a laboratory mixer. After mixing the components, they were placed in a heated mold. The mold with the composite mixture was placed in a thermal chamber for heating and the transition of the composition into a highly plastic state. The obtained plastisol was placed in a mold and then placed in a vacuum oven, where plasticization of the conductive PVC composition took place at a temperature of 130-140 ˚C. As

a result of the research, the following PVC compositions have been selected (Table).

Table – Recipes of PVC compositions

Components	Content of components in the composition, % vol.			
	a	b	c	d
PVC	35	35	35	35
DOP	60	55	45	35
Graphite	5	10	20	30

Results and discussion

Using optical microscopy, the distribution of graphite in the PVC matrix was compared for samples with different filler contents. Fig. 1 shows microphotographs of PVC composite films containing up to 30 vol. % of filler.

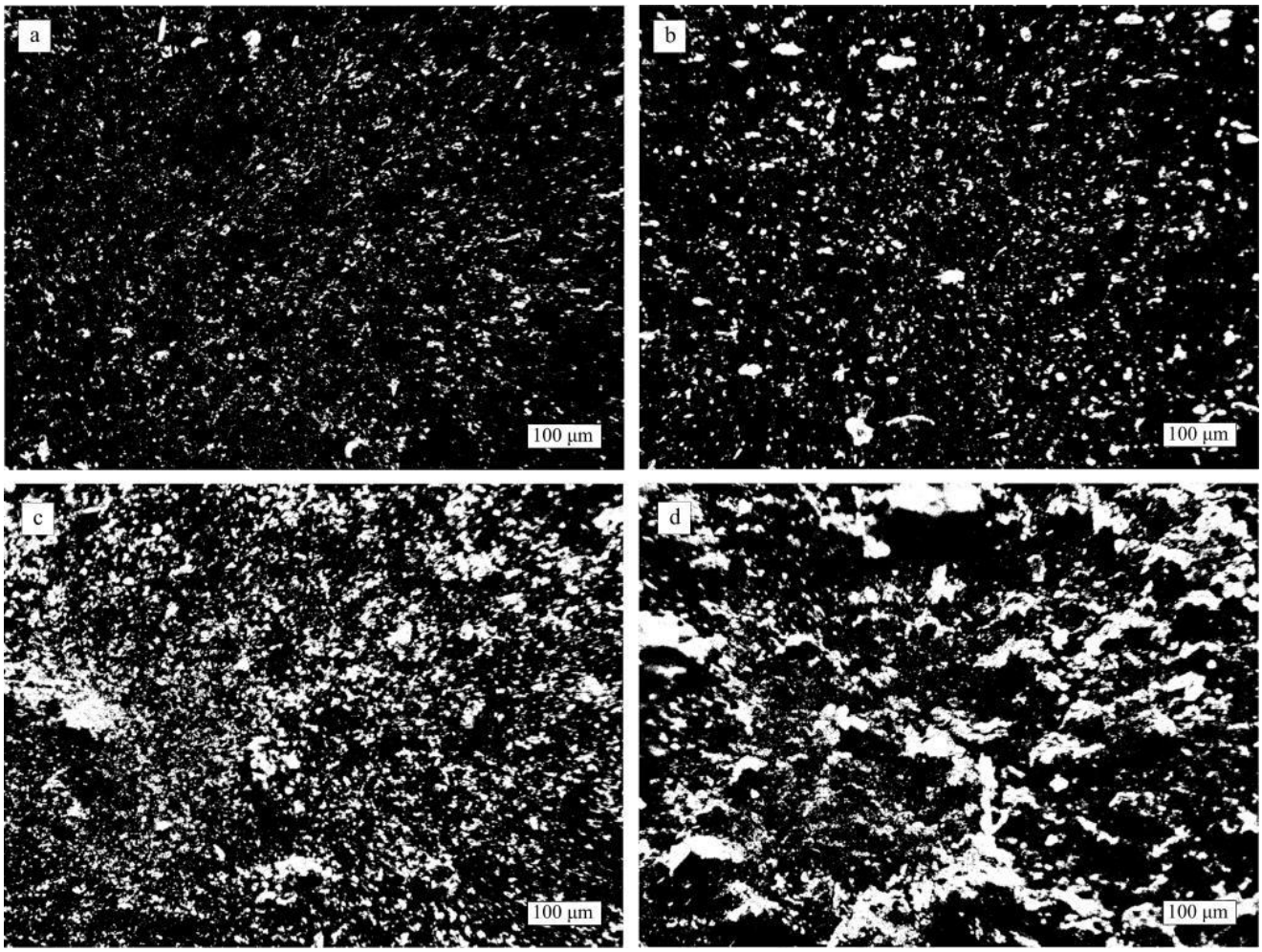


Fig. 1. - Reflected light microscopy images of composite films based on PVC, containing graphite as filler: a) 5 vol. %; b) 10 vol. %; c) 20 vol. %; d) 30 vol. %

The morphology of the films and filler distribution greatly depends on their concentration. Samples are characterized by visible aggregation of filler particles. This can be a result of weak interaction on PVC-margin compared to interaction between filler particles. This can be due to the filler's polymerophoby towards the macromolecules of the polymer matrix. The particles aggregation could be a result of an extremely high surface concentration of filler, which can be observed by the microphotograph's examination [6].

Results of the research of filler uniformity distribution in PVC composite films are shown in Fig. 2. The PVC composition with 30 vol. % of filler is characterized by the highest heterogeneity of particles distribution (Kn. = 11.6 %). Heterogeneity for PVC composite films containing 20 vol. % of filler is higher than for PVC composite films containing 10 and 5 vol. % of a filler, but lower than for PVC composition with 30 vol. % of filler. Data comparison shows that films containing 5 and 10 vol. % of graphite (Kn. ≈ 2.7 %) are characterized by the highest uniformity. The higher value of Kn. for PVC composition filled by colloidal graphite from 20 to 30 vol. % can be explained by the aggregation of the filler content in the polymer matrix [7, 8]. These results were compared with data obtained by the same homogeneity assessment method without the use of computer automation. The results of this comparison indicate the suitability of the created homogeneity assessment software for practical use [4].

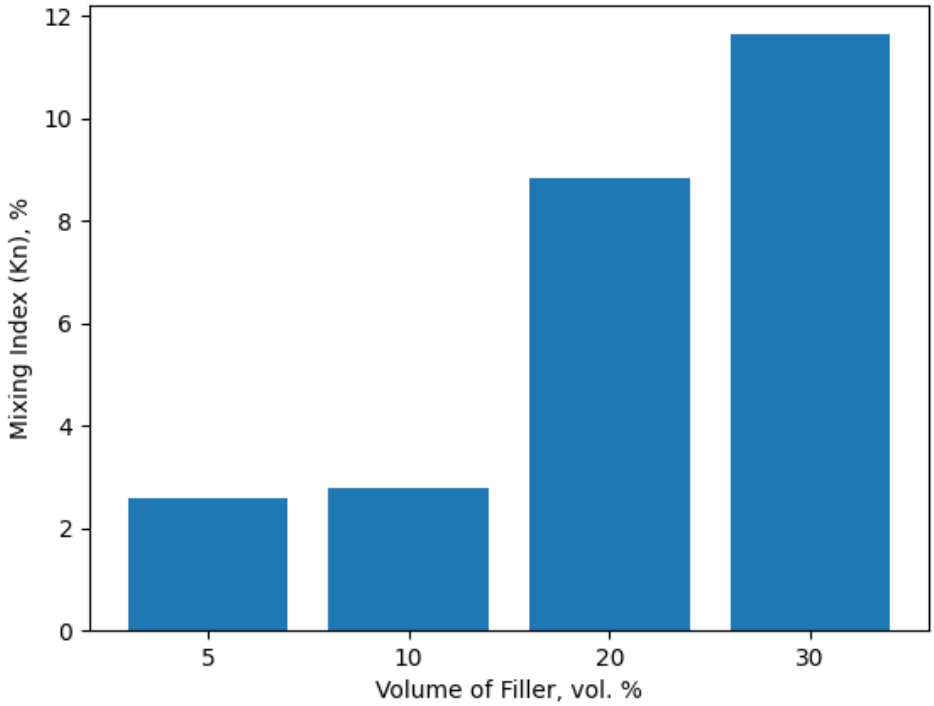


Fig. 2. - Histogram for mixing index (Kn) of conductive PVC compositions from the content of graphite

Conclusions

Using the developed software, the influence of graphite content on the homogeneity of polyvinyl chloride compositions was determined. The increase of the graphite content from 5 to 30% vol. leads to an increase of the composition mixing index from 2.6 % to 11.6 %, which is due to the aggregation of the filler in the polyethylene matrix. Obtained results affirm that the heterogeneity of particles distribution should be considered while creating composite films with a determined (predicted) level of homogeneity.

References:

1) Yakaboylu, G. A.; Sabolsky, E. M. Determination of a Homogeneity Factor for Composite Materials by a Microstructural Image Analysis Method. Journal of Microscopy 2017, 266 (3), 263–272. https://doi.org/10.1111/jmi.12536.
2) Krygier, M. C.; LaBonte, T.; Martinez, C.; Norris, C.; Sharma, K.; Collins, L. N.; Mukherjee, P. P.; Roberts, S. A. Quantifying the Unknown Impact of Segmentation Uncertainty on Image-Based Simulations. Nature Communications 2021, 12 (1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-25493-8.
3) Image segmentation https://habr.com/ru/post/128768/ (accessed 2022 -10 -20).

4) . Novak, D. S.; Maryniaka, K. A. Development of software for evaluation of uniformity of filler distribution in a polymer matrix. Technologies and Engineering 2021. https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.6.4.
5) Hill, T.; Lewicki, P.; Lewicki, P. Statistics: Methods and Applications: A Comprehensive Reference for Science, Industry, and Data Mining; StatSoft, Inc., 2006.
6) Novak, D.; Budash, Y.; Plavan, V.; Kucherenko, E. Effect of the Colloidal Graphite Filler on the Properties of Electroconductive Polyethylene Compositions. Materials Today: Proceedings 2022, 50, 514–517. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.304.
7) Király, A.; Ronkay, F. Effect of Filler Dispersion on the Electrical Conductivity and Mechanical Properties of Carbon/Polypropylene Composites. Polymer Composites 2013, 34 (7), 1195–1203. https://doi.org/10.1002/pc.22530.
8) Alshammari, B. A.; Al-Mubaddel, F. S.; Karim, M. R.; Hossain, M.; Al-Mutairi, A. S.; Wilkinson, A. N. Addition of Graphite Filler to Enhance Electrical, Morphological, Thermal, and Mechanical Properties in Poly (Ethylene Terephthalate): Experimental Characterization and Material Modeling. Polymers 2019, 11 (9), 1411. https://doi.org/10.3390/polym11091411.

CERTIFICATE OF ATTENDANCE
2022 ADVANCED POLYMER MATERIALS and TECHNOLOGIES
This is to certify that
VALENTYN VASYLENKO
Has attended
4th International Conference
"Advanced Polymer Materials and Technologies"
Kyiv National University of Technologies & Design
Lviv Polytechnic National University
Kyiv, Lviv
October, 11
2022
Deputy Chairwoman of the Scientific Committee,
Vice-Rector for Research and Innovation KNUTD,
prof. Liudmyla Hanushchak-Yefimenko