

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»



Технологія екструзійної переробки пластичних мас

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт



Київ-2011

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИЧНИХ МАС

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

Київ
„Політехніка”
2011

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Національний технічний університет України
„Київський політехнічний інститут”

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИЧНИХ МАС

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціальності 7.05130107 (7.091612)
„Технологія переробки полімерів”

Затверджено Методичною радою НТУУ „КПІ”

Київ
НТУУ „КПІ”
2011

Технологія переробки пластичних мас: Метод. вказівки до викон. лаборат. робіт для студ. спец. 7.05130107 (7.091612) „Технологія переробки полімерів”/ Уклад.: Петухов А.Д., Круглицька В.Я. та ін. - К.: ВПІ ВПК „Політехніка”, 2011. – 108 с.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ „КПІ”
(Протокол № 7 від 17.03.2011 р.)*

Навчальне видання

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИЧНИХ МАС

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності
7.05130107 (7.091612) „Технологія переробки полімерів”

Укладачі: *Петухов Аркадій Дем'янович, д-р. техн. наук*
Круглицька Валентина Яківна, канд. тех. наук
Пахомова Вікторія Миколаївна
Токарчук Володимир Володимирович, канд. тех. наук
Осьмаков Олег Григорович
Мельник Любов Іванівна, канд. тех. наук

Відповідальний редактор *В.А. Свідерський, д-р. техн. наук, проф.*

Рецензент *Л. І. Ружинська, канд. техн. наук, проф.*

*За редакцією укладачів
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Темплан 2011 р., поз.

Підп. до друку 2011. Формат: 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір офс. Гарнітура – Nimes

Спосіб друку – ризографія. Ум. друк. арк. .Обл.-вид. арк.. . Зам. № . Наклад 100 пр.

НТУУ „КПІ” ВПІ ВПК „Політехніка”

Свідоцтво ДК №1665 від 28.01.2004 р.

03056, Київ, вул. Політехнічні, 14.ю корп. 15

тел./факс (044) 241-68-78

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ПЕ – поліетилен;

ПЕВТ – поліетилен високого тиску;

ПЕСТ – поліетилен середнього тиску;

ПЕНТ – поліетилен низького тиску;

ПА – поліамід;

ПК – полікарбонат;

ПЕТФ – поліетилентерефталат;

ПММА – поліметилметакрилат;

ПТР – показник текучості розплаву

ЗМІСТ

Вступ.....	5
Загальні теоретичні відомості.....	7
Лабораторна робота 1. Технологія екструзійної підготовки розплаву пластмас.....	14
Лабораторна робота 2. Технологія екструзійного змішування та гранулювання пластмас.....	23
Лабораторна робота 3. Технологія виробництва гладких труб.....	32
Лабораторна робота 4. Технологія виробництва рукавних плівок.....	43
Лабораторна робота 5. Технологія виробництва двоосноорієнтованих рукавних плівок	52
Лабораторна робота 6. Технологія виробництва плоских плівок...	63
Лабораторна робота 7. Технологія виробництва двоосноорієнтованих плоских плівок	73
Лабораторна робота 8. Технологія виробництва листів і рулонних матеріалів.....	86
Лабораторна робота 9. Технологія нанесення покриттів на сердечник	96
Список рекомендованої літератури.....	107

ВСТУП

При підготовці бакалаврів, спеціалістів, магістрів зі спеціальності «Технологія переробки полімерів» значна увага приділяється закріпленню теоретичних знань практичними і лабораторними заняттями. Особливість сучасних хімічних технологій – складне і великогабаритне апаратурне оснащення, а інженерії – технологічне обслуговування цього обладнання. Розташування агрегатів і технологічних ліній у вузівських лабораторіях не завжди можливо, а вузи, нажаль, ще не мають своїх дослідних виробництв і тому лабораторну практику вимушені здійснювати на декількох споріднених зі спеціалізації підприємствах. Запропоновані методичні вказівки враховують такі умови для виконання лабораторних робіт з технології екструзійної переробки пластичних мас, вироби виготовленні даним методом займають біля третини загального обсягу полімерних виробів в світі.

Екструзія – технологічний процес, сутність якого полягає в безперервному витискуванні розплаву пластичної маси (пластмаси) через отвір певного перерізу з метою отримання виробів необхідної форми, а саме труб, плівок, сіток, листів, профілів, ізоляційних покриттів та ін. Пластмаси – це композиційні матеріали на основі полімерів (матриці), в яку для забезпечення необхідних властивостей вводяться в певних пропорціях спеціальні добавки: наповнювачі, пластифікатори, стабілізатори, барвники та інші. Наші лабораторні роботи стосуються основних методів екструзійної переробки термопластів у вироби.

Мета лабораторних робіт – освоєння студентами, майбутніми бакалаврами, спеціалістами та магістрами, технологій і обладнання для виготовлення різних виробів з пластмас на екструдерах; набуття практичних навичок виконання окремих робіт з обслуговування устаткування екструзійних технологічних ліній; вивчення прийомів вимірів технологічних і конструктивних параметрів процесів та устаткування, обробки результатів вимірів; виконання інженерних розрахунків параметрів на теоретичній основі і

зіставлення їх результатів з експериментальними даними; набуття досвіду складання протоколів випробувань, формулювання висновків з отриманих результатів.

У процесі виконання лабораторних робіт студенти ознайомляться з реальними екструзійними процесами, побачать особливості технологічних процесів і обладнання, здолають психологічний страх від контакту з контрольно-вимірювальними приладами при задаванні, знятті та оцінці конкретних технологічних і конструкційних показників.

Лабораторні роботи проводяться після теоретичного вивчення або повторення відповідної тематики з реології та фізико-механічних властивостей пластмас, технологій та обладнання для їх переробки, при наявності технічних умов (ТУ) на виробі, технологічних регламентів (ТР) на процеси виробництва виробів.

Виконання даного лабораторного практикуму дасть змогу студентам засвоїти теоретичні знання та набути досвіду обслуговування технологічного устаткування в умовах виробництва.

Методичні вказівки становлять інтерес для студентів спеціальностей з виробництва полімерів та їх переробки, створення обладнання необхідного для цієї мети, а також корисні для магістрів та аспірантів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ РОЗПЛАВУ ПЛАСТМАС

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням екструзійної підготовки розплаву пластмас на черв'ячному пресі в виробничих умовах. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Підготовка розплаву пластмаси до формування відбувається в екструзійному обладнанні: одночерв'ячних, двочерв'ячних, дискових, диско-черв'ячних, черв'ячно-дискових або комбінованих екструдерах. Найбільш поширені – черв'ячні. Черв'як, який обертається в циліндрі, – основний робочий орган екструдера. Він забирає вихідну сировину від завантажувального отвору, пластикує його і рівномірно подає у вигляді гомогенного розплаву до формуючої головки.

Рухаючись по каналу черв'яка, матеріал нагрівається, ущільнюється та гомогенізується. Внаслідок ущільнення з матеріалу через завантажувальний отвір видаляється повітря, захоплене разом з гранулами, і питомий об'єм пластмаси зменшується. Для компенсування зменшення питомого об'єму канал черв'яка виконується з об'ємом витка, що теж зменшується завдяки зміні глибини каналу або кроку нарізки витка черв'яка.

За характером процесів, що протікають по довжині черв'яка, їх поділяють на три зони: зону завантаження (живлення) – ділянка, на якій матеріал знаходиться в твердому стані; зона плавлення (стиску) – ділянка, на якій майже повністю відбувається плавлення матеріалу; зона гомогенізації (дозування) – ділянка, на якій матеріал знаходиться в в'язкотекучому стані. Межі зон рухомі і

залежать як від конструкції черв'яка, так і від властивостей матеріалу, що переробляється, та режиму екструзії.

Функції зони завантаження полягають у тому, щоб захоплювати і транспортувати гранули матеріалу та передавати їх у наступну зону. У зоні плавлення тверді частинки пластмаси, стикаючись з гарячою поверхнею циліндру, частково плавляться і утворюють на ній тонку плівку розплаву. При зустрічі з гребенем витка черв'яка розплав знімається з поверхні циліндру та накопичується біля задньої стінки каналу відносно напрямку руху матеріалу, де відбувається його змішування з раніше розплавленими порціями пластмаси.

Передня частина каналу заповнена рухомою пробкою нерозплавлених гранул, яка по мірі плавлення зменшується і врешті зникає.

Матеріал в зоні плавлення розігрівається як за рахунок тепла, що виділяється внаслідок сухого та в'язкого тертя, так і за рахунок тепла, що підводиться від зовнішніх нагрівачів. При автогенному процесі екструзії тепла внутрішнього тертя може бути достатньо для плавлення матеріалу, а зовнішній нагрів у цьому випадку потрібний лише як стартовий для розігріву пластмаси в каналах зон плавлення та гомогенізації черв'яка і головки.

На вході в зону гомогенізації матеріал приймається як повністю розплавлений і являє собою в'язкотекучу рідину. Фактична довжина зони, що гомогенізує розплав і подає його в формуючу головку, залежить від частоти обертання черв'яка, температури розплаву (реологічних характеристик розплаву), опору головки. Для визначення продуктивності третя зона є вирішальною, а для математичного моделювання цієї зони можна використати закони гідродинаміки в'язких рідин:

$$G_3 \geq G_n \geq G_{32} \quad \text{та} \quad G = G_{32},$$

де G_3 , G_n , G_{32} – продуктивність відповідно зон завантаження, плавлення, гомогенізації; G – продуктивність процесу екструзії.

Розрахунок продуктивності процесу підготовки розплаву. Розглядаються два варіанти здійснення процесу: з завантажуванням екструдера вихідною

сировиною, яка дозується («голодне» живлення), і живлення екструдера з заповненого сировиною завантажувального отвору. В першому випадку продуктивність процесу G дорівнює продуктивності дозуючих пристроїв G_0 , тобто

$$G = G_0. \quad (1.1)$$

Величина G_0 обмежується пропускною здатністю екструдера при підготовці якісного розплаву. При другому варіанті здійснення процесу рівняння має вигляд

$$G = \frac{\alpha kn}{k + \beta + \gamma}. \quad (1.2)$$

Отримано воно при сумісному рішенні рівняння для визначення продуктивності зони гомогенізації екструдера

$$G_{32} = \alpha n - \frac{\beta}{\mu_{\kappa}} \Delta p - \frac{\gamma}{\mu_3} \Delta p, \quad (1.3)$$

та рівняння витрат формуючої головки

$$G_2 = \frac{k \Delta p}{\mu_2}, \quad (1.4)$$

де α , β , γ – коефіцієнти прямого, зворотного потоків та потоку витоків відповідно, см^3 , та визначаються за наступними формулами

$$\alpha = \frac{\pi D h (t - ie) \cos^2 \varphi}{2}, \quad \beta = \frac{h^3 (t - ie) \sin 2\varphi}{24L}, \quad \gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \text{tg} \varphi \sin \varphi}{10ieL},$$

де k – коефіцієнт опору формуючої головки, см^3 ; n – частота обертання черв'яка, с^{-1} ; Δp – перепад тиску, що створюється опором формуючої головки, для насосного режиму роботи екструдера він відповідає перепаду тиску в каналі екструдера, МПа; μ_{κ} , μ_3 , μ_2 – ефективна в'язкість розплаву відповідно в каналі черв'яка, у зазорі між гребенем витку черв'яка і циліндром та головці, МПа·с; D – діаметр черв'яка, см; h – глибина каналу черв'яка в зоні гомогенізації, см; t – крок гвинтової лінії черв'яка, см; i – заходження черв'яка; e – ширина гребеня черв'яка, см; φ – кут нахилу гвинтової лінії черв'яка, град.;

L – довжина зони гомогенізації, см; δ – величина зазору між гребенем витку черв'яка і циліндром, см.

Перевірка коректності рівняння (1.2) здійснюється за фактичною продуктивністю екструдера G_ϕ , а саме за величиною наважки розплаву g , який виходить з технологічної фільери за певний час, тобто

$$G_\phi = gt.$$

Випробовування екструдерів відбуваються з застосуванням технологічної фільери – головки з вентильним пристроєм для регулювання опору головки при формуванні стрижня циліндричного профілю. Коефіцієнт опору технологічної фільери k у цьому випадку розраховується за формулою

$$k = \frac{\pi R^4}{8(L + R)}, \text{ см} \quad (1.5)$$

де R – радіус фільери, см; L – довжина фільери, см.

Для знаходження робочої точки (місця перетинання зовнішніх характеристик екструдера і головки) використовується графік залежності продуктивності G від протитиску Δp головки (рівняння (1.2), (1.4)), особливо прийнятний, коли приріст тиску на ділянці між входом у черв'як і початком зони гомогенізації поступовий (екструдер не має рифленої втулки в завантажувальній зоні).

Розрахунок потужності, що споживається головним електродвигуном екструдера. Тепло для нагріву і плавлення матеріалу утворюється в основному за рахунок сухого та внутрішнього тертя. Зовнішнє ж нагрівання у більшості випадків застосовується тільки для стартового (початкового) нагріву матеріалу в екструдері. Для аналізу використовується енергетичний баланс

$$dA + dQ = dU, \quad (1.6)$$

де dA – робота, яка підводиться зовні, у даному випадку механічна енергія приводу черв'яка; dQ – тепло, яке підводиться до екструдера від

зовнішніх нагрівачів (якщо при активному охолодженні більше тепла відводиться, чим підводиться, то dQ негативне); dU – зміна внутрішньої енергії матеріалу, що переробляється, фазові перетворення та ін.

Після диференціювання окремих часток рівняння (1.6) в часі отримується рівняння загальної потужності

$$N_m + (N_n - N_e) = G(T - T_o)c\rho + G\Delta p, \quad (1.7)$$

де N_m – корисна механічна енергія, що підводиться до черв'яка, Дж/с; N_n – потужність нагрівання, що підводиться, Дж/с; N_e – витрати потужності через випромінювання, теплопровідність та конвекцію, Дж/с; T_o – температура матеріалу на вході до черв'яка, °С; T – температура матеріалу на виході з черв'яка, °С; c – середня питома теплоємність в інтервалі температур T_o і T , включаючи питому теплоту перетворень, для ПЕВТ $c \approx 1,04$ Дж/(г·°С); ρ – середня питома густина матеріалу, що переробляється в інтервалі температур T_o і T , г/см³.

Корисна механічна енергія N_m виходячи з рівняння (1.7) визначається за формулою

$$N_m = G(T - T_o)c\rho - (N_n - N_e) + G\Delta p \quad (1.8)$$

Для визначення ж *споживаної енергії N_c* , необхідно враховувати в рівнянні (1.8) витрати енергії в головному електродвигуні, редукторі та інші витрати через їх сумарний коефіцієнт корисної дії (ККД) κ , а саме

$$N_c = \frac{G(T - T_o)c\rho - (N_n - N_e) + G\Delta p}{\kappa}. \quad (1.9)$$

У сучасних промислових екструдерів k знаходиться в діапазоні від 0,4 до 0,7, у залежності від стану обладнання та його технічного рівня. В автогенних режимах роботи екструдерів значення $(N_n - N_v)$ прямує до 0.

Зниження енерговитрат на кг (одиницю) продукції – одна з найважливіших задач виробництва, тому контроль за величиною цього показника і впровадження заходів з його зниження постійна турбота технологів. *Питомі енерговитрати q* розраховуються за формулою

$$q = \frac{N_c}{G} \quad (1.10)$$

При визначенні питомих енерговитрат у даному випадку не враховуються витрати електродвигунів систем охолодження екструдера.

Еластичне відновлення потоку розплаву після виходу з фільєри під дією нормальних напруг (ефект Баруса) K_B визначається по зміні діаметру екструдата при вільній екструзії d_{ve} відносно діаметру технологічної фільєри d_ϕ

$$K_B = \frac{d_{ve}}{d_\phi} \quad (1.11)$$

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовується в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Одночерв'ячний екструдер, датчик тиску, голчаста термopара, технічні ваги, лінійка, штангенциркуль, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з конструкцією екструдера та принципом його роботи. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу підготовки розплаву при цьому результати вимірів і розрахунків заносять до таблиць 1.2, 1.3.

Таблиця 1.2 – Умови роботи і характеристики процесу, екструдера

Найменування	Розмірність	Показники
Діаметр черв'яка, Д	мм	
Довжина черв'яка	Д	
Частота обертання черв'яка	хв ⁻¹	
Опір головки	МПа	
Глибина каналу черв'яка в зонах завантаження	мм	
дозування		
Зазор між гребенем витка і циліндром	мм	
Ширина витка	мм	
Крок гвинтової нарізки	мм	
Довжина зони дозування	мм	
Діаметр технологічної фільери	мм	
Довжина технологічної фільери	мм	

Таблиця 1.3 – Температура по зонах екструдера і температура розплаву

Виміри	Температура, °С						Примітка	
	зон екструдера				фільери	розплаву		
					6			
0							–	T _з
1								T _ф
±ΔT								
2								T _ф
±ΔT								
3								T _ф
±ΔT								
								макс ±ΔT

Примітка: ΔT=T_ф-T_з – відхилення фактичних температур T_ф від температур заданих T_з

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формучих зазорів головок та по ступеню розбухання заготовок виробів на виході з головок чи з технологічної фільєри. При проведенні випробувань відбираються зразки виробів, необхідних для перевірки їх якості, розмірів. Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми екструдера і технологічної фільєри.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 1.1.
4. Заповнити таблиці 1.2, 1.3, 1.4.
5. Розрахувати:
 - продуктивність екструдера G та G_{ϕ} ;
 - коефіцієнт опору k технологічної фільєри або формуючого зазору (фільєри) головки при інших виробках;
 - перепад тиску Δp та ΔP на межі екструдера і технологічної фільєри (формуючої головки);
 - робочу точку екструдера – технологічна фільєра (формуюча головка);
 - коефіцієнт Баруса K_B ;
 - корисну механічну енергію N процесу підготовки розплаву;
 - споживчу енергію N_c ;
 - питомі енерговитрати q ;
 - заповнити таблицю 1.5.

Таблиця 1.5 – Продуктивність, споживана потужність, питомі втрати

Виміри	g , кг/хв	G_f , кг/год	V, v	A, a	N_c , кВт	q , кВт/(кг/год)	ΔP , МПа	$d_{вс}$, мм
0	–	роз	–	–	роз	роз		
1		–			–	–		
2		–			–	–		
3		–			–	–		
	\bar{x}		\bar{x}	\bar{x}			\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункове значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

6. Здійснити порівняння результатів розрахунків і експерименту з продуктивності, перепаду тиску, споживаної потужності, питомих енерговитрат.

7. Оцінити коливання температури по зонах циліндру екструдера і формуючої головки.

8. Виявити «вузькі місця» блоку підготовки розплаву з продуктивності та припустити їх вплив на його якість.

9. Запропонувати заходи удосконалення незбалансованих модулів.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентам на роботу, результатів ефективності аналізу роботи модулів.

Контрольні запитання

1. Поняття «екструзія», особливості процесу та методів.
2. Устаткування для реалізації процесу, принцип роботи.
3. Функціональні зони черв'яка екструдера.
4. Особливості перевірного розрахунку продуктивності екструдера.
5. Необхідність визначення питомої потужності.

6. Ознаки оцінки якості розплаву.
7. Розбити розглянутий технологічний процес на блоки.
8. Розбити блок підготовки розплаву на відповідні модулі.
9. Розбити модуль підготовки розплаву черв'яком на відповідні елементи.
10. Визначити фактори впливу на процес приготування розплаву полімеру.
11. Визначити основні параметри процесу приготування розплаву полімеру.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСТРУЗІЙНОГО ЗМІШУВАННЯ ТА ГРАНУЛЮВАННЯ ПЛАСТМАС

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням екструзійного змішування та гранулювання пластмас на дисковому екструдері. Ознайомлення з принципами роботи екструзійної лінії. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Більшість пластмас являють собою не чисто полімери, а полімерні композиції, що містять різні добавки, наприклад, наповнювачі, пігменти, змащення, стабілізатори, антипірени, зшиваючі і спінюючі агенти та ін. Співвідношення компонентів у суміші різне. Ці добавки вводяться в композицію до пластикації полімеру або в його розплав.

Процес змішування – необхідний переділ (етап) технології виробництва виробів з полімерів і їх композицій, від якого в значній мірі залежать фізико-механічні і експлуатаційні властивості кінцевої продукції. Це складний фізичний процес, що протікає в полімерній матриці під спільною дією тепла і зсуву, в умовах зовнішнього і внутрішнього тертя при русі і деформації.

При змішуванні компоненти можуть перебувати в трьох різних вихідних станах – рідкому, в'язкотекучому і сипучому. Поряд з вирівнюванням концентрацій речовин у суміші в більшості випадків змішування супроводжується також і диспергуванням (подрібнюванням) до часток певного розміру, що забезпечує кращу гомогенність суміші. Отримана суміш повинна мати високу температурну однорідність, ізотропний розподіл компонентів по всьому об'єму суміші, у будь-якій його точці з максимально можливою поверхнею розподілу компонентів.

Змішування полімерів з добавками у в'язкотекучому стані (в'язкість перевищує 50 Па·с), здійснюється головним чином під дією зовнішніх сил, тому що процеси молекулярної дифузії внаслідок високої в'язкості суміші протікають дуже повільно. З цієї ж причини змішування проходить при низьких значеннях числа Рейнольдса (як правило $Re \ll 1$). Тому цей різновид змішування називають ще ламінарним.

По характеру розрізняють періодичне і безперервне змішування. При періодичному процесі всі компоненти одночасно або в певній послідовності вводяться в обмежений об'єм полімеру, що багаторазово пропускається через змішувальні органи (елементи). Процес змішування при цьому триває доти, доки не буде досягнута потрібна якість суміші. За таким принципом працюють барабанні змішувачі, змішувальні вальці, турбошвидкісні змішувачі, різні мішалки.

У безперервному процесі задана якість досягається за один прохід суміші через робочу порожнину змішувача (одно- і багаточерв'ячні преси, осцилюючі змішувачі, дискові і комбіновані екструдери). Живлення екструдерів також відбувається введенням всіх компонентів одночасно або в певній послідовності

Екструзійне обладнання відрізняється високою диспергуючою і гомогенізуючою здатністю. Із всіх видів устаткування для підготовки сумішей в розплаві краща якість змішування забезпечується на дисковому екструдері (ЕД), який працює на використанні ефекту нормальних напруг, що виникають у зазорі між нерухомим та диском, що обертається. Іноді ЕД виконуються в комбінації з черв'ячними вставками і називаються в цих випадках черв'ячно-дисковими (ЕЧД) або диско-черв'ячними (ЕДЧ).

При виконанні даної лабораторної роботи попередній розподіл добавок у композиції здійснюється при сухому змішуванні на обладнанні періодичної дії, остаточне в в'язкотекучому стані – на екструдері. Попереднє сухе змішування є підготовчою операцією і аналізу в роботі не піддається.

Гранулювання – одержання з розплаву полімерної композиції гранульованого матеріалу, зручного для подальшої переробки у виробі. При екструзійному змішуванні цей процес – найбільш розповсюджена фінішна операція, яка має два варіанти виконання: стренговий і з різкою на фільтері. Метод гранулювання вибирається в залежності від потрібної форми гранул з урахуванням в'язкості розплаву. Наприклад, гранули циліндричної форми із низьков'язких пластмас виготовляють стренговим методом.

Блоки процесу змішування і гранулювання. У роботі розглядаються блоки операцій, що виконуються безперервно на екструзійному обладнанні – лінії для змішування і стренгової грануляції (ЛЗГ) – базою якої при проведенні лабораторної роботи є черв'ячно-дисковий екструдер. До складу екструзійного процесу змішування-гранулювання полімерних композицій входять блоки: завантаження екструдера; підготовка розплаву; формування з розплаву заготовок стренг; формоутворення стренг витягуванням; охолодження стренг; сушіння стренг; подрібнення стренг на гранули; фасування гранул у тару.

Для більш детального аналізу процесу, що відбувається у блоці операцій «подрібнення стренг на гранули», розглядаються два основних його модулі, а саме: витягування і подання стренг на різку; різка стренг на гранули (формоутворення гранул).

Операції блоків і модулів реалізуються на відповідних машинних блоках і конструкційних модулях.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній, тобто

$$G_1 = G_2 = G_3 = G_4 = G_5 = G_6 = G_7 = G_8, \quad (2.1)$$

де $G_1, G_2, G_3, \dots, G_8$ – відповідно продуктивність кожного з блоків процесу змішування і грануляції. У реальних процесах таке співвідношення реалізувати важко, але для підвищення ефективності виробництва прагнути до цього необхідно. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ, при 100% використанні технічних можливостей обладнання. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, та аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес: геометрія черв'яка і диска, частота обертання черв'яка-диска, опір формуючої головки, діаметр і довжина формуючих фільтер, кількість фільтер, температура по зонах циліндра і головки, швидкість витягування стренг, температура води у ванні охолодження, частота обертання ротора гранулятора.

Параметри поведінки об'єктів переробки: продуктивність процесу, температура розплаву, тиск у розплаві на межі екструдера і головки, споживана потужність процесу, питома витрата енергії, діаметр стренги при вільній екструзії, діаметр і довжина гранули.

Розрахунок продуктивності процесу змішування та гранулювання. Розглядаються три варіанти визначення продуктивності: у першому та другому варіантах розрахунок (проектний) – з рівнянь (1.1) і (1.2) по теоретичній продуктивності екструдера (пам'ятаємо, що $G \geq G_0$), у третьому (розрахунок перевірочний) – по фактичній продуктивності процесу (лінії), величина якої

обмежується критичною турбулентністю струменю розплаву чи можливістю системи охолодження стренг або задається в умовах виробництва.

На стадії гранулювання (фінішна операція) продуктивність процесу G_2 і продуктивність змішування в цілому визначається за формулою

$$G_2 = \frac{\pi \cdot d_c^2 \cdot v_g \cdot \rho \cdot n_c}{4}, \quad (2.2)$$

де d_c – діаметр стренги, см; v_g – швидкість витягування стренг (швидкість гранулювання), см/хв.; ρ – густина полімерної композиції стренги (приймається рівною густині матриці або визначається при виконанні лабораторної роботи), г/см³; n_c – кількість стренг.

Перепад тиску в головці з рівняння (1.4) з врахуванням кількості фільтр головки.

Базовим для визначення *споживаної енергії* технологічних процесів (ліній) являється рівняння (1.9), а *питомих енерговитрат* – рівняння (1.10).

Споживана енергія ЛЗГ N_c^z (кВт) є сумою окремих потужностей споживачів (електродвигунів, електронагрівачів) за певний час з урахуванням їх ККД, тобто

$$N_c^z = \sum N_c^{e0} + \sum N_c^{en} \quad (2.3)$$

де N_c^{e0} – споживана потужність окремих електродвигунів лінії, кВт; N_c^{en} – споживана потужність нагрівачів лінії, кВт (при виконанні лабораторної роботи фіксується при наявності засобів виміру). У такому випадку рівняння (2.3) приймає вигляд

$$N_c^z = \sum N_c^{e0}. \quad (2.4)$$

У ЛЗГ основними споживачами енергії є електродвигуни екструдера і гранулятора, тобто

$$N_c^z = N_c^e + N_c^m + N_c^p, \quad (2.5)$$

де N_c^e , N_c^m , N_c^p – споживана потужність (кВт) відповідно електродвигунів екструдера, тягнучих валків гранулятора, ротора гранулятора.

Питомі витрати ЛЗГ q_z (кВт/(кг/год)) визначаються за формулою

$$q_z = N_c^n / G_z, \quad (2.6)$$

де G_l – продуктивність лінії.

Ступінь розбухання стренг C_p – відношення діаметра стренги при вільній екструзії з фільтри d_{ϕ} до діаметра фільтри d_{ϕ}

$$C_p = d_{\phi} / d_{\phi} \quad (2.7)$$

Ступінь витягування стренг C_v – відношення швидкості витягування v_v до швидкості вільної екструзії v_{ve}

$$C_v = v_v / v_{ve} \quad (2.8)$$

Швидкість вільної екструзії v_{ve} визначається за формулою

$$v_{ve} = \frac{4G_z}{\pi \cdot d_{\phi}^2 \cdot \rho_{\phi} \cdot n_c}, \quad (2.9)$$

де ρ_{ϕ} – густина розплаву в фільтрі, г/см³.

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовується в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Лінія для змішування та гранулювання полімерних композицій (ЛЗГ), датчик тиску, голчаста термопара, технічні ваги, лінійка металева, штангенциркуль, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з конструкцією екструдера та принципом його роботи. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу змішування і гранулювання при цьому результати вимірів заносять до таблиць 2.2, 2.3.

Таблиця 2.2 – Умови роботи і характеристики процесу, лінії

Найменування	Розмірність	Показники
Діаметр черв'яка, Д	мм	
Довжина черв'яка	Д	
Частота обертання черв'яка-диска	хв ⁻¹	
Глибина каналу черв'яка в зонах:	мм	
завантаження		
дозування		
Зазор між гребенем витка і циліндром	мм	
Ширина витка	мм	
Крок гвинтової нарізки	мм	
Довжина зони дозування	мм	
Опір головки	МПа	
Діаметр формуючого отвору головки	мм	
Довжина формуючого отвору	мм	
Кількість отворів	шт	
Частота обертання ротора	хв ⁻¹	

Таблиця 2.3 – Температурний режим зон, температура розплаву, води

Вимір и та ΔT	Температура, °С						Примітка		
	зон черв'яка-диска			головки		T_p		T_e	T_z
0									T_z
1									T_ϕ
$\pm \Delta T$									
2									T_ϕ
$\pm \Delta T$									
3									T_ϕ
$\pm \Delta T$									
									макс $\pm \Delta T$

Примітка: $\Delta T = T_\phi - T_z$ – відхилення фактичних температур T_ϕ від температур заданих T_z

Процес змішування і грануляції контролюється по його відповідності вимогам чинного технологічного регламенту (ТР). Якість екструдату оцінюється візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючих каналів головки, а також з аналізу ступенів розбухання і витягування стренг. Якість гранул визначається з відповідності розмірів гранул (діаметр, довжина) і зовнішнього вигляду вимогам технічних умов (ТУ), для цього відбираються зразки стренг і гранул.

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми дисково-черв'ячного екструдера.
 2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
 3. Заповнити таблицю 1.1.
 4. Заповнити таблиці 2.2, 2.3, 2.4.
 5. Розрахувати:
 - теоретичну G і фактичну G_c продуктивність лінії для змішування і гранулювання;
 - перепад тиску Δp формуючих каналів головки;
 - робочу точку екструдер – головка;
 - споживана потужність N_c^n ;
 - питомі енерговитрати q_n ;
 - ступені еластичного відновлення заготовок стренг і їх витягування.
- заповнити таблиці 2.5, 2.6.

Таблиця 2.5 – Продуктивність і споживана потужність, питомі втрати

Виміри	g , кг/хв	G , кг/ГОД	$V_e, \text{ в}$	$V_m, \text{ в}$	$V_p, \text{ в}$	A_e, a	A_m, a	A_p, a	$N_c^{\text{л}}$	$q_{\text{л}}$
0	–	роз	–	–	–	–	–	–	роз	роз
1		–								–
2		–								–
3		–								–
	\bar{x}		\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}		–

Примітка: роз – розрахункове значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення

Таблиця 2.6 – Тиск у розплаві, параметри формування гранул

Виміри	ΔP , МПа	$v_{\text{вс}}$ м/хв	v_c , м/хв	$d_{\text{вс}}$, мм	$d_{\text{ф}}$, мм	C_p	$C_{\text{с}}$	$d_z = d_c$, мм	l_z , мм
0		роз	–	–	–	роз	роз	–	–
1									
2		–				–	–		
3		–				–	–		
	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	–	–	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункове значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення

6. Перевірити відповідність фактичних показників процесу та гранул вимогам чинних ТР, ТУ.

7. Здійснюється порівняння результатів теоретичних розрахунків і експериментальних даних

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків.

Контрольні запитання

1. Переваги і недоліки безперервного змішування.
2. Особливості змішування в ЕД, ЕЧД, ЕДЧ.
3. Критерії якості змішування.
4. Необхідність контролю вихідної сировини для гранулювання.

5. Методи гранулювання та їх особливості.
6. Оцінка якості гранулювання.
7. Особливості екструзійних технологій і обладнання. Їх класифікація.
8. Одночерв'ячні екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
9. Багаточерв'ячні екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
10. Дискові і комбіновані екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
11. Фізичні процеси, які протікають в екструдерах. Вплив їх на якість розплаву і властивості виробів.
12. Основні параметри процесу екструзії.
13. Функціональні зони екструдера, їх сумісна робота.
14. Вплив конструкції черв'яків і параметрів процесу на продуктивність, тиск, температуру розплаву.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ГЛАДКИХ ТРУБ

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню гладких труб. Ознайомлення з принципами роботи екструзійної лінії. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Технологія виготовлення гладких труб базується на безперервному витискуванні (екструзії) розплаву через кільцевий зазор з наступним калібруванням та охолодженням і відводом труби тягнучім пристроєм. Цим методом можна виготовляти труби з більшості термопластів, в'язкість яких

достатня для збереження форми заготовки труби після виходу з формуючого зазору. Взагалі екструзійні труби (пряма екструзія) у сьогоднішній час виготовляються з зовнішнім діаметром від десятих часток міліметра (капіляри) до 2000 і більше мм. Їх виробляють гладкими, гофрованими, одношаровими, багатошаровими, гнучкими, жорсткими і т.д. Найбільш великотоннажними є виробництво гладких, у т.ч. багатошарових, труб для транспортування газу, води, каналізації; для механічного і гідрозахисту попередньо теплоізольованих труб та труб лінійних комунікацій зв'язку. Лабораторна робота присвячена виробництву гладких труб на трубних лініях (ЛТ).

Підготовка розплаву до формування в більшості випадків здійснюється на черв'ячних екструдерах. Тип екструдера вибирається залежно від розмірів (площі перетину) труби, що виготовляється, швидкості її відводу та кількості потоків (одночасно труб, що формуються, на одному екструдері). Максимальна швидкість відводу труби вибирається з умови виключення появи еластичної турбулентності потоку при формуванні заготовки труби, забезпеченні її охолодження по зовнішній поверхні до 40°C (заходи безпечного обслуговування та запобігання деформуванню труби в тягнучому пристрої).

Блоки процесу екструзії труб. До складу блоків входять: завантаження гранул полімеру до екструдера; підготовка розплаву в екструдері; формування з розплаву заготовки труби; формоутворення (калібрування) і попереднє охолодження труби; охолодження (термообробка) труби; витягування труби; намотування труби в бухти або розрізання їх на мірні відрізки; штабелювання відрізків.

Для аналізу процесу, що відбувається у блоці операцій «формування з розплаву заготовки труби», розглядаються його модулі, а саме: живлення головки розплавом, розподілу розплаву, стабілізування потоку розплаву, формування заготовки труби. При багатошаровій сукструзії характерними є також модулі переходу з одношарових потоків розплаву в багатошарові (модуль стратифікованої течії).

Операції блоків процесу і модулів блока формування заготовки труби реалізуються на відповідних машинних блоках і конструкційних модулях.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку, модулю їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній. У реальних процесах таке співвідношення реалізувати складно. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, з аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес: геометрія черв'яка, частота обертання черв'яка, опір формуючої головки, діаметр і довжина кільцевого формуючого каналу, температура по зонах циліндра і головки, внутрішній діаметр гільзи калібратора, тиск повітря при калібруванні труби, температура води в камері калібрування, температура води у ваннах охолодження, швидкість витягування труби.

Параметри поведінки об'єктів переробки: продуктивність процесу, температура розплаву, тиск у розплаві на межі екструдера і трубної головки, температура поверхні труби на виході з ванни охолодження, споживана потужність процесу, питомі витрати енергії, діаметр заготовки труби при вільній екструзії, фактичний діаметр труби і її овальність.

Розрахунок продуктивності процесу. Теоретична продуктивність трубної лінії (ЛТ) визначається з рівнянь (1.1) і (1.2) по теоретичній продуктивності екструдера (пам'ятаємо, що $G \geq G_d$), а фактична – по продуктивності фінішних операцій процесу, яка задається або визначається межами якості змішування компонентів, критичної турбулентності розплаву заготовки труби чи можливістю системи калібрування і охолодження труби.

На стадії відрізання труби продуктивність процесу визначається за формулою

$$G_m = F v_m \rho, \quad (3.1)$$

де F – площа перерізу труби, см^2 ; v_m – швидкість витягування труби, м/хв. ; ρ – густина матеріалу труби, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при виготовленні труб з рівняння (3.1) складає порядку 70% від максимальної з рівняння (1.2).

Розрахунок опору головки. Основна частина обсягу труб виробляється на прямоточних головках. У модулі живлення здійснюється зміна напрямку осісиметричного потоку розплаву, розділ його на рівноцінні окремі потоки, підвід до колекторного розподільвача.

У модулі розподілу потік розплаву переводиться з циліндричного в кільцевий з забезпеченням рівномірного розподілу по периметру його витрат. Течія відбувається в каналах, що сходяться, а саме круглих кільцевих, конічних кільцевих, конічних з конічною щілиною (конвергентних) каналах, у каналах кільцевих з гвинтовим розподілом розплаву.

Модуль стабілізації потоку розплаву являє собою колектор на вході його в формуючий зазор. У модулі завдяки величині форми колектора підбираються умови для вирівнювання тиску розплаву по його периметру, профілю швидкостей в потоці, що забезпечують рівношвидкісний вхід останнього в формуючий канал.

У модулі формування заготовки труби утворюється її геометричний профіль, складаються напруження, які значно впливають на якість виробу, його критичну інтенсивність. Довжина формуючого каналу залежно від полімеру і анізотропії властивостей труби, що допускається, знаходиться в межах 15...30 відношень довжини формуючого зазору до його висоти. У головці необхідно забезпечувати відсутність ліній спаїв, що з'являються після проходження розплавом спиць дорнотримача, рівномірну течію розплаву по периметру формуючого зазору, запобігати появі еластичної турбулентності.

При проектуванні головок необхідно враховувати, що в залежності від довжини формуючого каналу змінюється анізотропія властивостей труб в осьовому та тангенціальному напрямках. Для отримання труб з меншою анізотропією властивостей формування необхідно проводити без витягування розплаву після виходу з головки. Оцінка ступеню витягування K_e здійснюється з аналізу рівняння

$$K_e = \frac{v_m}{v_{ee}}, \quad (3.2)$$

де v_{ee} – швидкість течії розплаву в формуючому каналі при вільній екструзії, см/хв.; v_m – швидкість відводу труби, см/хв.

$$v_{ee} = \frac{G_m}{\rho_p \pi (R_m^2 - R_o^2)}, \quad (3.3)$$

де R_m і R_o – радіуси матриці та дорну формуючого каналу головки, см; ρ_p – густина розплаву в формуючому каналі, г/см³.

Для знаходження втрат тиску увесь шлях руху розплаву в головці розбивають умовно на ділянки з постійною геометричною формою каналів та нумерують їх. Розмітку каналів проводять зазвичай по ходу руху розплаву. Потім, використовуючи рівняння таблиці 3.1, по об'ємній витраті G розраховують градієнт швидкості $\dot{\gamma}$ для кожної ділянки та коефіцієнт опору k .

З кривої течії при температурі розплаву для даної композиції знаходять в'язкість розплаву для всіх ділянок головки i , використовуючи рівняння (1.4) визначають перепади тиску Δp_i для кожного каналу. Розрахунок виконується без врахування втрати тиску на вході в канали. Сумарний опір головки (перепад тиску на всіх ділянках) для прямої трубно-голівки повинен бути приблизно в межах

$$5 \text{ МПа} \leq \sum_{i=1}^{i=n} \Delta p_i \leq 15 \text{ МПа}. \quad (3.4)$$

Таблиця 3.1. Формули для розрахунку коефіцієнту гідравлічного опору k та градієнту швидкості зсуву $\dot{\gamma}$

Канал	Розрахункові формули	
	$k, \text{см}^3$	$\dot{\gamma}, \text{с}^{-1}$
Круглий циліндричний, де R – радіус каналу, см	$\frac{\pi R^4}{8(1+R)}$	$\frac{3n+1}{n} \frac{G}{\pi R^3}$
Круглий конічний, де D і d – діаметри каналу, що звужується, у початковому і кінцевому перерізах, см	$\frac{3\pi D^3 d^3}{128(D^3 + Dd + d^3)l}$	$\frac{(n+1)}{n} \frac{8G}{\pi(D+d)^2}$
Конічний кільцевий, що звужується, де R_o і δ_o – початкові середній радіус і висота зазору в радіальному напрямку, см; R_l і δ_l – кінцеві середній радіус і висота зазору в радіальному напрямку, см.	$\frac{\pi(R_o \delta_l - R_l \delta_o)}{6lM}$	$\frac{2n+1}{n} \frac{8G}{\pi(R_o + R_l)(\delta_o + \delta_l)^2}$
Кільцевий циліндричний, де R_l і R_2 – радіуси зовнішньої і внутрішньої стінок каналу, см.	$\frac{\pi(R_1 + R_2)(R_1 - R_2)^3}{12(R_1 - R_2)}$	$\frac{2n+1}{n} \frac{2G}{\pi(R_1^2 - R_2^2)(R_1 - R_2)}$
Плоский щілинний, де b і h – ширина і висота зазору каналу, см.	$\frac{bh^3 F}{12(1+h)}$	$\frac{2n+1}{n} \frac{2G}{bh^2}$
Щілинна клиновидна, де b – ширина каналу, см; h_1 і h_2 – початкова і кінцева висота зазору каналу, см.	$\frac{bh_1^2 h_2^2 F}{6l(h_1 + h_2)}$	$\frac{2n+1}{n} \frac{4G}{b(h_1 + h_2)^2}$

Примітка: В таблиці 3.1: l – довжина каналів у подовжньому напрямку, см;

n – показник степеневого реологічного рівняння;

$$M = \frac{(R_o - R_l)}{R_o \delta_l - R_l \delta_o} \ln \frac{R_o \delta_l}{R_l \delta_o} - \frac{(R_o - R_l)(\delta_o - \delta_l)}{\delta_o \delta_l (R_o \delta_l - R_l \delta_o)} \frac{\delta_o^2 - \delta_l^2}{2\delta_o^2 \delta_l^2};$$

$$F = 0,13(h/b)^2 - 0,71(h/b) + 1.$$

Розрахунок внутрішнього діаметру гільзи калібратора. Абсолютна більшість труб, що виготовляються, калібрують по зовнішньому діаметру.

У цьому випадку внутрішній діаметр залежить від товщини стінок труби. Для забезпечення заданого зовнішнього (номінального) діаметру труби робочий діаметр калібруючої гільзи, розраховують з урахуванням усадки пластмаси при охолодженні

$$D_2 = d_n \left(1 + \frac{Y}{100}\right) \quad (3.5)$$

де D_2 – робочий діаметр калібруючої гільзи, мм; d_n – номінальний зовнішній діаметр труби по ДСТУ, мм; Y – лінійна усадка матеріалу труби, %.

Споживана енергія ЛТ N_c^m (кВт) є сумою окремих потужностей споживачів (електродвигунів, електронагрівачів) за певний час з урахуванням їх ККД. Споживана потужність нагрівачів екструдера і головки ЛТ при виконанні лабораторної роботи фіксується при наявності засобів виміру. При сучасних швидкостях обертання черв'яка ця складова витрат енергії прямує до нуля, тобто

$$N_c^m = \sum N_c^{e\theta}, \quad (3.6)$$

де $\sum N_c^{e\theta}$ – споживана потужність найбільш енерговитратних електродвигунів ЛТ, а саме сума споживаних потужностей екструдера N_c^e , вакуумного насосу N_c^{en} тягнучого пристрою N_c^{mn} , намотувального пристрою N_c^{nn} , кВт:

$$N_c^m = N_c^e + N_c^{en} + N_c^{mn} + N_c^{nn}. \quad (3.7)$$

Питомі витрати ЛТ q_m (кВт/(кг/год)) визначаються за формулою

$$q_m = N_c^m / G_m. \quad (3.8)$$

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовується в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для виробництва труб (ЛТ), датчик тиску, голчата і лучкова термомпари, технічні ваги, лінійка металева, штангенциркуль, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом трубної лінії, що базується на черв'ячно-дисковому екструдері. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення гладких труб при цьому результати вимірів заносять до таблиць.

Таблиця 3.3 – Умови роботи і характеристики процесу, лінії

Найменування	Розмірність	Показники
Діаметр черв'яка, Д	мм	
Довжина черв'яка	Д	
Опір головки	МПа	
Глибина каналу черв'яка в зонах завантаження : дозування	мм	
Зазор між гребенем витка і циліндром	мм	
Ширина витка	мм	
Крок гвинтової нарізки	мм	
Довжина зони дозування	мм	
Внутрішній діаметр матриці	мм	
Зовнішній діаметр дорна	мм	
Довжина формуючого зазору	мм	
Внутрішній діаметр гільзи калібратора	мм	
Довжина гільзи калібратора	мм	
Довжина ванни охолодження	мм	

Таблиця 3.4 – Температурний режим зон, температура розплаву, води

Виміри та ΔT	Температура, °C										Примітка
	зон черв'яка-диска					ГОЛОВКИ		T_p	T_k	T_o/T_n	
	1	2	3	4	5	6	7				
0										/40	T_3
1											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
2											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
3											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
											макс $\pm \Delta T$

Примітка: $\Delta T = T_\phi - T_3$ – відхилення фактичних температур T_ϕ від температур заданих T_3

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формучих зазорів головок та по ступеню розбухання заготовок виробів на виході з головки. При проведенні випробувань відбираються зразки труб, необхідні для перевірки їх якості, розмірів. Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії ЛТ та основного формуючого елемента.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 3.2.
4. Заповнити таблиці 3.3., 3.4, 3.5.
5. Розрахувати:
 - теоретична G і фактична продуктивність G_m трубної лінії;
 - перепад тиску ΔP у кільцевому формуючому каналі трубної головки;
 - робочу точку екструдер – головка;

- споживана лінією енергія N_c^a ;
- питомі енерговитрати q_m ;
- ступінь розбухання і витягування заготовок труби;
- внутрішній діаметр гільзи для калібрування труб.
- заповнити таблиці 3.6, 3.7.

Таблиця 3.6 – Продуктивність лінії, параметри формування труби

Виміри	n_q	g_m	G_m	ΔP	v_{ee}	v_m	d_{ee}	d_ϕ	Δd_ϕ	$\Delta \delta$
0	–	–	роз	–	роз	–	–			
1			–		–					
2			–		–					
3			–		–					
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	–	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

Таблиця 3.7 – Споживана потужність, питомі енерговитрати

Виміри	V_e	$V_{вн}$	$V_{мп}$	$V_{нп}$	A_e	$A_{вн}$	$A_{мп}$	$A_{нп}$	N_c^m	q_m
0									роз	роз
1										
2										
3										
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}		

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

6. Здійснити порівняння результатів розрахунків і експерименту з продуктивності, тиску на межі екструдер - головка, споживаної потужності, питомих енерговитрат.

7. Проаналізувати відповідність фактичних показників процесу виробництва та труб вимогам чинних ТР, ТУ.

8. Оцінити коливання температури по зонах циліндру екструдера і головки та їх вплив на продуктивність процесу і якість труб.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Особливості екструзійних технологій і обладнання. Їх класифікація.
2. Функціональні зони екструдера, їх сумісна робота.
3. Вплив конструкції черв'яків і параметрів процесу на продуктивність, тиск, температуру розплаву.
4. Призначення і класифікація труб, методи їх виробництва.
5. Способи калібрування і охолодження труб. Вплив умов охолодження на надмолекулярну структуру і властивості труб.
6. Які основні види труб виробляються прямою екструзією.
7. Види формуючих трубних головок, їх особливості.
8. Залежність анізотропії властивостей труб від довжини формуючого каналу головки.
9. Методи калібрування труб, особливості вакуумного калібратора.
10. Умови охолодження труб, у тому числі по їх перерізу.
11. Яким способом можна визначити, що труба не охолоджена до необхідної температури.
12. Особливості виробництва тонкостінних труб – оболонки попередньо ізольованих труб.
13. Причини утворення овальності труб.
14. Особливості визначення швидкості вільної екструзії трубчастої заготовки.
15. Особливості визначення ступеня витягування заготовки труби.
16. Особливості визначення показника еластичного відновлення при формуванні труби.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА РУКАВНИХ ПЛІВОК

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню рукавних плівок. Ознайомлення з принципами роботи екструзії рукавних плівок. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Технологія виробництва рукавних плівок з полімерів полягає в безперервному витискуванні розплаву через кільцевий зазор з наступним роздувом повітрям циліндричної заготовки до необхідного діаметру. Цим методом в основному переробляються поліолефіни в плівку з шириною рукава від декількох сантиметрів до 12 метрів і товщиною від 6 мкм до 0,6 мм. Виготовляються рукавні плівки як одношаровими, так і багатшаровими (до 11 і більше шарів). Найбільше споживають рукавні плівки (у рукавному або розрізаному на полотна стані) в сільському господарстві, будівництві, пакувальній галузі, побуті та ін. У пакувальній галузі все більш широке споживання отримують спеціальні полімерні плівки – термоусадочні, стретч- і твістплівки, основою технології виробництва яких являється технологія, що розглядається в даній лабораторній роботі.

Розплав до формування готується на одночерв'ячних або черв'ячно-дискових екструдерах. Екструдери вибираються залежно від розмірів плівки, що виготовляється, швидкості її прийому. Максимальна швидкість прийому розплаву і тим самим плівки обмежуються появою еластичної турбулентності потоку при формуванні заготовки плівки, можливістю її охолодження до температури, що гарантує відсутність злипання плівки при складанні рукава, і практично досягає 100 м/хв.

Визначальну роль при одержанні багатошарових плівок (суекструзії) належить формуючому інструменту, який суттєво відрізняється від головок для виготовлення одношарових рукавних плівок. Головки для суекструзії крім виконання функцій профілюючого інструменту забезпечує необхідне співвідношення товщини шарів майбутньої плівки, їх взаємодії в процесі формування і при подальшій експлуатації.

Заготовка плівкового рукава формується у зазорі між дорном і матрицею кільцевої головки. Після виходу з головки заготовка роздувається за рахунок різниці тиску повітря на внутрішню і зовнішню поверхні рукава, які одночасно охолоджуються. В обох випадках повітря у вигляді концентричного збіжного струменю подається з охолоджуючих кілець на поверхні рукава.

Подальші технологічні операції здійснюються в прийомних пристроях: у стабілізуючому пристрої роздутий циліндричний рукав утримується при русі у одному положенні (частіше – вертикальному), що не дозволяє плівці переміщуватися вздовж валків тягнучого пристрою; у складаючому пристрої - забезпечується перевід рукава з циліндричної в плоску форму; у фальцюючому пристрої - утворюються з двох протилежних боків внутрішні подовжні складки в рукаві (фальці), чим досягається також зменшення ширини рукава у складеному вигляді та забезпечується можливість виготовлення більш широкої плівки на існуючому тягнучому пристрої. Тягнучій пристрій приймає плівку і протягує її через перераховані вище пристрої та подає через центруючі механізми на намотування.

Блоки процесу екструзії рукавних плівок. До складу блоків операцій процесу входять: завантаження гранул полімеру до екструдера; підготовка розплаву в екструдері; формування з розплаву заготовки рукавної плівки; формоутворення рукава плівки; охолодження (термообробка) плівки; складання рукава і прийом плівки; намотування плівки в рулони.

Для аналізу процесу, що відбувається у блоці операцій «формоутворення рукава плівки», розглядаються два його основні модулі, а саме: витягування, двохосного розтягування.

Операції блоків процесу і модулів блока «формування рукава плівки» реалізуються на відповідних машинних блоках і операційних модулях блоку.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку, модулю їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній, У реальних процесах таке співвідношення реалізувати важко. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, з аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес: геометрія черв'яка, частота обертання черв'яка, опір формуючої головки, діаметр і довжина кільцевого формуючого каналу, температура по зонах циліндра і головки, тиск повітря у рукаві, температура плівки на вході в тягучі валки, швидкість і кут подання повітря на заготовку рукава, швидкість витягування плівки, зусилля натягування плівки при намотуванні.

Параметри поведінки об'єктів переробки: продуктивність процесу, температура розплаву, тиск у розплаві на межі екструдера і плівкової головки, ступені роздуву і витягування рукава, висота лінії кристалізації (затвердіння) плівки, температура плівки перед тягучими валками, злипання внутрішніх шарів рукава при складанні, утворення «поршневих» кілець на рулоні плівки, ширина і товщина плівки, споживана потужність процесу, питомі витрати енергії.

Розрахунок продуктивності процесу. Теоретична продуктивність лінії для виробництва рукавної плівки (ЛРП) визначається з рівнянь (1.1) і (1.2) по теоретичній продуктивності екструдера (пам'ятаємо, що $G \geq G_0$), а фактична – по продуктивності фінішних операцій процесу, яка задається або визначається межами якості гомогенізації розплаву, можливістю систем формування і охолодження плівки.

На стадії намотування плівки фактична продуктивність процесу G_{pn} дорівнює

$$G_{pn} = g_{pn} t, \quad (4.1)$$

де g_{pn} – величина наважки плівки, одержаної за час t .

При відомій швидкості прийому рукавної плівки v_{pn} продуктивність процесу G_{pn} можна визначити з рівняння

$$G_{pn} = F v_{pn} \rho_{pn}, \quad (4.2)$$

де F – площа поперечного перерізу плівкового рукава, см^2 ; v_{pn} – швидкість прийому (витягування і намотування) рукава, м/хв. ; ρ_{pn} – густина матеріалу плівки, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при виготовленні рукавної плівки по розрахунку з рівнянь (4.1 – 4.2) складає порядку 80% від максимальної з рівняння (1.2).

Розрахунок розмірів формуючого каналу головки. При конструюванні головок спочатку визначають геометричні розміри формуючого каналу, виходячи з умов сталості витрат у всіх перерізах каналу. Для перерізів каналу формуючого зазору і рукавної плівки після лінії кристалізації ці умови виглядають наступним чином

$$\pi D_z \delta_z v_{ze} \rho_z = \pi D_p \delta_{pn} v_{pn} \rho_{pn}, \quad (4.3)$$

де D_m і D_p – відповідно діаметри матриці формуючого зазору і рукава плівки, см ; δ_z і δ_{pn} – відповідно висота (товщина) формуючого зазору і плівки, см ; v_{ze} і v_{pn} – відповідно швидкість руху розплаву в головці (вільна екструзія) і прийому плівки, см/с ; ρ_z і ρ_{pn} – відповідно густина розплаву при температурі екструзії (в зазорі) та плівки при температурі приміщення, г/см^3 .

Швидкість вільної екструзії v_{ze} розраховується з витрат розплаву при течії через формуючий канал і геометрії останнього

$$v_{ze} = \frac{4G_{pn}}{\pi (D_m^2 - D_o^2)}, \quad (4.4)$$

де D_o – діаметр дорна формуючого зазору, см .

У рівнянні (4.3) виділимо наступні відношення:

$$\varepsilon_p = D_p / D_m; \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_v = v_{pn} / v_{ve}; \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_z = \rho_{pn} / \rho_z; \quad (4.7)$$

де ε_p – ступінь поперечного витягування плівки (роздуву); ε_v – ступінь подовжнього витягування плівки; ε_z – зміна густини матеріалу в процесі виробництва рукавної плівки.

На основі рівнянь (4.3) і (4.5) – (4.7) отримуємо вираз для визначення висоти зазору формуючого каналу

$$\delta_3 = \delta_{pn} \varepsilon_p \varepsilon_v \varepsilon_z. \quad (4.8)$$

Практикою встановлено, що довжина l формуючого каналу змінюється в межах $l = (10 \dots 25) \delta_3$ для поліетилену, полістиролу, композицій ПВХ; для поліпропілену $l = (15 \dots 30) \delta_3$.

Розрахунок перепаду тиску в головці для формування рукавної плівки здійснюється аналогічно розрахунку Δp з лабораторної роботи 3.

Споживана потужність N_c^{pn} найбільш енерговитратних електродвигунів ЛРП, а саме сума споживаних потужностей екструдера N_c^e , повітродувки N_c^{nd} тягнучого пристрою N_c^{mn} , намотувального пристрою N_c^{nn} , кВт:

$$N_c^{pn} = N_c^e + N_c^{nd} + N_c^{mn} + N_c^{nn}. \quad (4.9)$$

Питомі витрати ЛРП q_{pn} (кВт/(кг/год)) визначаються за рівнянням

$$q_{pn} = N_c^{pn} / G_{pn}. \quad (4.10)$$

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовується в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для виробництва рукавних плівок (ЛРП) на основі черв'ячно-дискового екструдеру, датчик тиску, голчаста і лучкова термомпари, технічні ваги, лінійка металева, мікромметр, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по виготовленню рукавних плівок (ЛРП), що базується на черв'ячно-дисковому екструдері. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення рукавних плівок при цьому результати вимірів заносять до таблиць 4.2, 4.3.

Таблиця 4.2 – Температура по зонах, розплаву, повітря, плівки

Виміри та ΔT	Температура, °C										Примітка
	зон черв'яка-диска					ГОЛОВКИ		T_p	T_{zn}/T_n	T_{pn}	
	1	2	3	4	5	6	7				
0											T_z
1											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
2											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
3											T_ϕ
$\pm \Delta T$											
											макс $\pm \Delta T$

Примітка: $\Delta T = T_\phi - T_z$ – відхилення фактичних температур T_ϕ від температур заданих T_z

Таблиця 4.3 – Умови роботи і характеристики процесу, лінії, плівки

Найменування	Розмірність	Показники
Діаметр черв'яка, D	мм	
Ширина складеного рукава	мм	
Товщина одержаної плівки	мм	
Довжина черв'яка	D	
Діаметр диска	мм	
Внутрішній діаметр матриці	мм	
Зовнішній діаметр дорна	мм	
Довжина формуючого зазору	мм	
Тиск повітря при роздуві рукава	мм рт. ст.	
Ступінь витягування плівки: поперечного (роздуву) ϵ_p подовжнього ϵ_b		
Зусилля злипання плівки при складанні	г/см	
Витрати повітря на охолодження рукава	m^3	
Частота обертання черв'яка-диска	$xв^{-1}$	
Частота обертання тягнучих валків	$xв^{-1}$	
Зусилля натягу плівки при намотуванні	Н/см	

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючого каналу плівкової головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, наявністю «поршневих кілець» на рулонах. Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії ЛРП та основного формуючого елемента.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 4.1.
4. Заповнити таблиці 4.2, 4.3, 4.4.
5. Розрахувати:

- теоретичну G і фактичну продуктивність G_{pn} ЛРП;
- перепад тиску Δp_ϕ у формуючому каналі кільцевої плівкової головки;
- робочу точку екструдер – плівкова кільцева головка;
- споживану лінією енергію N_c^{pn} ;
- питомі енерговитрати q_{pn} ;
- ступінь роздуву і витягування заготовки плівки.
- заповнити таблиці 4.5, 4.6.

Таблиця 4.5 – Продуктивність лінії, параметри формування рукава

Виміри	g_{pn}	G_{pn}	ΔP	$H_{кр}$	$v_{ве}$	v_{pn}	$S_{cрп}$	δ_{pn}	$\Delta S_{cрп}$	$\Delta \delta_{pn}$
0	–	роз	–	–	роз	–	–	–	–	–
1		–			–					
2		–			–					
3		–			–					
\bar{x}		–	\bar{x}	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

Таблиця 4.6 – Споживана потужність, питомі енерговитрати

Виміри	V_e	$V_{нд}$	V_{mn}	V_{nn}	A_e	$A_{нд}$	A_{mn}	A_{nn}	N_c^{pn}	q_{pn}
0	–	–	–	–	–	–	–	–	роз	роз
1									–	–
2									–	–
3									–	–
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	–	–

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

6. Здійснити порівняння результатів розрахунків і експерименту з продуктивності, тиску на межі екструдер - головка, споживаної потужності, питомих енерговитрат.

7. Проаналізувати відповідність фактичних показників процесу виробництва та рукавної плівки вимогам чинних ТР, ТУ.

8. Оцінити коливання температури по зонах циліндру екструдера і головки та їх вплив на продуктивність процесу і якість плівки.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Призначення і класифікація плівок, методи виробництва.
2. Технологія виготовлення плівок роздувом.
3. Особливості підготовки розплаву і формування заготовки рукава.
4. Суекструзія рукавних плівок.
5. Вплив течії і реологічного стану розплаву на надмолекулярну структуру полімеру, на якість формування рукавних плівок.
6. Формування плівкового рукава витягуванням та роздувом.
Орієнтація рукавних плівок при роздуві.
7. Способи охолодження рукавних плівок. Методи переводу рукава в плоский стан.
8. Вплив умов формування і охолодження на надмолекулярну структуру і властивості плівок.
9. Вимоги до намотування. Способи розкладки різновтовщинності по ширині рулону.
10. Види браку при виготовленні рукавних плівок.
11. Розрахунок основних параметрів виробництва рукавних плівок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДВООСНООРІЄНТОВАНИХ РУКАВНИХ ПЛІВОК

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню двоосноорієнтованих рукавних плівок. Ознайомлення з принципами роботи екструзії рукавних плівок та принципом двоосної орієнтації рукава. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Особливе місце займають біорієнтовані (двохосьова орієнтація) рукавні плівки (БРП), серед них найбільш відомі плівки «Термоплен», «Полірад», «Саран», плівки з поліамідів («Пентафлекс» – штучна п'ятишарова термоусадочна оболонка) та ін. Процес орієнтування (орієнтаційного витягування) полягає в наступному, плівка з термопластичних аморфних або кристалічних полімерів при нагріванні піддається витягуванню – деформуванню в двох напрямках з наступною термостабілізацією та охолодженням. Технологія і обладнання для одержання рукавної плівки, розглянута в лабораторній роботі 4, у принципі, аналогічні тим, що використовуються для одержання заготовки (напівфабрикату) для наступного орієнтаційного витягування, але корегуються під вимоги останнього.

Основні вимоги до процесу і обладнання для виготовлення заготовок для орієнтації – забезпечення максимальної композиційної однорідності розплаву і однорідність (ізотропність) структури плівки, а також мінімальна їх різнотовщинність по довжині і ширині. Вимога ізотропності структури – визначальна для якісної орієнтації і виконання її вимагає змін у підготовці розплаву (підвищені температурні режими, фільтрація розплаву), формуванні

заготовки рукава (довжина формуючого каналу), формоутворенні рукава (ступеню роздуву і витягування рукава, умови його охолодження).

Орієнтація рукавної плівки здійснюється безперервно по мірі її екструзії. Для цього після одержання складеного рукава плівка знову нагрівається і або послідовно роздувається та розтягується, або ці процеси відбуваються одночасно. У принципі, не має перешкод для орієнтації будь-якого термопласту. Різниця полягає лише в ступені розтягування, деформації, яку можна здійснити без руйнування полімеру. Так, жорстколанцюгові полімери мають обмежену величину витягування, гнучколанцюгові мають велике значення ступеню орієнтації. Широко застосовуються для орієнтації рукавним методом поліаміди, поліолефіни, полістирол, полівініліденхлорид, поліетилентерефталат, жорсткий і пластифікований полівінілхлорид. БРП мають товщину від 5 до 200 мкм.

У вихідному ізотропному стані в заготовці для орієнтації макромолекули знаходяться у вигляді клубків або у вигляді кристалітів, розподілених в аморфній частині і зв'язаних прохідними макромолекулами. При орієнтаційному витягуванні макромолекули аморфних полімерів у клубках частково сегментально розпрямляються, а кристалічні – утворюють структури з більш орієнтованими по напрямку розтягування прохідними макромолекулами і кристалітами. Орієнтація кристалічних полімерів проходить через утворення шийки (змушена еластичність), або без неї (висока еластичність). При утворенні шийки товщина вихідної заготовки різко зменшується. Якщо шийка не утворюється, то товщина заготовки змінюється плавно, пропорційно зміні ступеню витягування.

Термофіксація є заключною технологічною операцією для полімерів, що кристалізуються. Мета термофіксації – по можливості максимально знизити усадку плівки, що експлуатується при підвищених температурах. Вона здійснюється при температурах високоеластичного стану полімерів впродовж певного часу, причому плівка утримується в невідному стані – у рукаві залишається надлишковий тиск повітря. Якщо зменшити тиск, то при

температурі термофіксації відбудеться усадка плівки, а орієнтація сегментів ланцюгів макромолекул та кристалітів зникне. При термофіксації відбувається кристалізація ланцюгів при збереженні їх орієнтованого стану.

Для полімерів, що не кристалізуються, після орієнтації проводиться лише охолодження з метою «замороження» орієнтованого стану ланцюгів. При повторному нагріві таких плівок у вільному стані відбувається усадка (термоусадка), яка супроводжується дезорієнтацією ланцюгів.

При виконанні лабораторної роботи аналізується процес і лінія для виробництва БРП, що містить до п'яти шарів, у т.ч. п'ятишарових БРП (ковбасних оболонки) на основі поліаміду і поліетилену.

1-ий (зовнішній) шар – поліамід: забезпечує високу механічну міцність плівки; захищає від проникнення зовні рідин, жирів, мікроорганізмів і ультрафіолетових променів; охороняє від проникнення газів (O_2 , N_2 , CO_2 та ін.) і летких речовин (запахів); забезпечує термоусадку.

3-ій шар – поліетилен: забезпечує двосторонню паро і вологонепроникненість; охороняє продукт від втрат органолептичних якостей; надає плівці високу еластичність.

5-ий (внутрішній) шар – поліамід: забезпечує другий рівень захисту від зовнішніх деструктивних факторів; захищає від витоку з продукту смакоароматичних компонентів; подвоює механічну міцність плівки; забезпечує додаткову термоусадку; забезпечує адгезію оболонки з фаршем.

2-ий і 4-ий адгезійні шари механічно поєднують несумісні поліамід і поліетилен, підвищують загальну еластичність і забезпечують стійкість оболонки при розтягуванні, усадці і термічних градієнтах. Сумарна товщина оболонки 45...55 мкм. При розтягуванні оболонки орієнтуються поліамідні шари, в яких забезпечуються термоусадочні властивості оболонки.

Блоки процесу біорієнтування рукавних плівок. До складу блоку процесу входять: завантаження гранул полімеру до екструдерів; підготовка в екструдерах розплаву; формування заготовки первинного рукава плівки; формоутворення первинного рукава; термообробка заготовки плівки

(ізотропній) для орієнтації; прийом і складання первинного рукава; нагрівання первинного рукава – заготовки для орієнтації; формоутворення вторинного рукава (двовісна орієнтація); термофіксація структури плівки вторинного рукава; намотування орієнтованої плівки в рулони.

Для аналізу процесу, що відбувається у блоці «формоутворення первинного рукава», розглядаються його модулі, а саме: формування плівочного рукава, калібрування рукава, фіксування форми рукава охолодженням.

Операції блоків процесу і модулів блока «формоутворення первинного рукава»; реалізуються на відповідних машинних блоках і конструкційних та безконтактних модулях.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку, модулю їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній, У реальних процесах таке співвідношення реалізувати важко. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, з аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес: геометрія черв'яків, частота обертання черв'яків, опір формуючої головки і фільтрів, діаметр і довжина кінцевого кільцевого формуючого каналу, температура по зонах циліндра і головки, швидкості прийому первинного, вторинного рукава, тиск повітря у вторинному рукаві орієнтації та біорієнтованого рукава при термофіксації, .

Параметри поведінки об'єктів переробки: продуктивність процесу, температура розплаву, тиск у розплаві на межі екструдерів і плівкової головки, ступені роздуву і витягування первинного і вторинного рукава, температура плівки перед тягнучими валками, ширина і товщина плівки.

Розрахунок продуктивності процесу. Теоретична продуктивність лінії для виробництва біорієнтованої п'ятишарової рукавної плівки (ЛОРП) для кожного екструдера визначається з рівнянь (1.1) і (1.2) по теоретичній продуктивності

екструдера (пам'ятаємо, що $G \geq G_d$) і підсумовується для всіх екструдерів лінії. Фактична – по продуктивності фінішних операцій процесу, яка задається або визначається межами якості гомогенізації розплаву, можливістю систем формоутворення і термообробки плівки на всіх стадіях.

На стадії намотування плівки фактична продуктивність процесу G_{opn} дорівнює

$$G_{opn} = g_{opn} t, \quad (5.1)$$

де g_{opn} – величина наважки біорієнтованої рукавної плівки, одержаної за час t .

При відомій швидкості прийому рукавної плівки v_{opn} продуктивність процесу G_{opn} можна визначити з рівняння

$$G_{opn} = F v_{opn} \rho_{opn}, \quad (5.2)$$

де F – площа поперечного перерізу плівкового рукава, см^2 ; v_{opn} – швидкість прийому (витягування і намотування) рукава, м/хв. ; ρ_{opn} – густина матеріалу плівки, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при виготовленні орієнтованої рукавної плівки по розрахунку з рівнянь (5.1 – 5.2) складає порядку 80% від максимальної з рівняння (1.2).

Розрахунок розмірів формуючого каналу головки. При конструюванні головок спочатку визначають геометричні розміри формуючого каналу, виходячи з умов сталості витрат у всіх перерізах каналу. Для перерізів каналу формуючого зазору і БРП після калібруючого диску ці умови виглядають наступним чином

$$\pi D_m \delta_z v_{ве} \rho_z = \pi D_{pn1} \delta_{pn1} v_{pn1} \rho_{pn1} = \pi D_{opn2} \delta_{opn2} v_{opn2} \rho_{opn2}, \quad (5.3)$$

де D_m , D_{pn1} і D_{pn2} – діаметри відповідно матриці формуючого зазору, первинного рукава і рукава орієнтованої плівки, см ; δ_z , δ_{pn1} і δ_{opn2} – висота (товщина) відповідно формуючого зазору, плівки первинного рукава і орієнтованої плівки, см ; $v_{ве}$, v_{pn1} і v_{opn2} – швидкість руху відповідно розплаву в

головці (вільна екструзія), первинного рукава і орієнтованої плівки, см/с; ρ_3 , ρ_{pn1} і ρ_{pn2} – густина відповідно розплаву при температурі екструзії (в зазорі), та плівки при температурі приміщення, г/см³ (розглядаємо визначальний матеріал структури багат шарової оболонки, у нашому випадку – поліамід).

Швидкість вільної екструзії v_{ve} розраховується з витрат розплаву при течії через формуючий зазор і геометрії останнього

$$v_{ve} = \frac{4G_{opn}}{\pi(D_m^2 - D_0^2)}, \quad (5.4)$$

де D_0 – діаметр дорна формуючого зазору, см.

У рівнянні (5.3) виділимо наступні відношення:

$$\varepsilon_{p1} = D_{pn1}/D_m; \quad (5.5)$$

$$\varepsilon_{p2} = D_{pn2}/D_{pn1}; \quad (5.6)$$

$$\varepsilon_{e1} = v_{pn1}/v_{ve}; \quad (5.7)$$

$$\varepsilon_{e2} = v_{pn2}/v_{pn1}; \quad (5.8)$$

$$\varepsilon_{e1} = \rho_{pn1}/\rho_3; \quad (5.9)$$

де ε_{p1} і ε_{p2} – ступінь роздуву відповідно первинного і вторинного рукавів; ε_{e1} і ε_{e2} – ступінь подовжнього витягування відповідно первинного і вторинного рукавів; ε_{e1} – ступінь зміни густини розплаву в формуючому зазорі і матеріалу первинного рукава.

На основі рівнянь (5.3) і (5.5), (5.7) і (5.9) отримуємо вираз для визначення висоти зазору формуючого каналу

$$\delta_3 = \delta_{pn1} \varepsilon_{p1} \varepsilon_{e1} \varepsilon_{e2}. \quad (5.10)$$

Для одержання заготовки первинного рукава з мінімально можливою анізотропією властивостей плівки в поперечному та подовжньому напрямках формування заготовки слід проводити без витягування розплаву після виходу з головки, а довжину формуючого зазору l_3 треба розраховувати з урахуванням процесу релаксації напруг зсуву при русі розплаву в ньому. Для цього використовується співвідношення:

$$l_3 \geq 3v_{se} \lambda \quad (5.11)$$

де λ – час релаксації напруги зсуву, с.

Виразивши час релаксації через в'язкість μ і модуль зсуву $G_{\dot{\gamma}}$ ($\lambda = \mu / G_{\dot{\gamma}}$), враховуючи рівняння

$$\mu = K_0 e^{-b(T - T_0)}, \quad (5.12)$$

отримуємо

$$\lambda = \frac{K_0}{G_{\dot{\gamma}}} \dot{\gamma}^{n-1} \cdot e^{-b(T - T_0)}, \quad (5.13)$$

де T – абсолютна температура, К; K_0 – коефіцієнт степеневого реологічного рівняння при T_0 , чисельно рівний в'язкості розплаву при швидкості зсуву, що дорівнює 1, с; b – коефіцієнт, що характеризує ступень впливу температури на в'язкість; $G_{\dot{\gamma}}$ – модуль зсуву розплаву при температурі T і швидкості зсуву $\dot{\gamma}$.

Модуль зсуву є мірою пружності тіла при зсуві. Він зв'язаний з модулем пружності при розтягуванні тіла E (модулем Юнга) співвідношенням $1 + \mu = E / 2G_{\dot{\gamma}}$, де μ – коефіцієнт Пуасона. Для тіл, у яких $\mu = 0,5$ (по Тагер E для полімерів в еластичному стані дорівнює 0,2 МПа).

Розрахунок виконується для шарів як з поліаміду, так і поліетилену. Для обчислення довжини формуючого каналу приймається шар з максимальним значенням часу релаксації напруги зсуву.

Розрахунок перепаду тиску в головці. Для формування заготовки первинного рукава здійснюється аналогічно розрахунку Δp з лабораторної роботи 4, включаючи опір фільтра розплаву.

Розрахунок енергетичних характеристик технологічного процесу з-за великої кількості об'єктів, які мають електроприводи, нагрівачі, які витрачають значну теплову енергію, в даній роботі не проводився.

Контроль процесу і якості продукції. Процес виробництва оболонки контролюється за її відповідністю вимогам технологічного регламенту. Якість екструдату оцінюється візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючого каналу плівкової головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, наявністю «поршневих кілець» на рулонах.

При проведенні випробувань відбираються зразки біорієнтованої рукавної плівки, необхідні для перевірки її якості, розмірів.

Зразки та матеріали

Наявні ідентифікаційні дані складових вихідної сировини для виготовлення біорієнтованої п'ятишарової рукавної плівки, що використовується в даний час на підприємстві.

Типова структура 5-шарової плівки (оболонки): поліамід – 50%; адгезійний шар – 5%; поліетилен – 30%; адгезійний шар – 5%; поліамід – 10%.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для вертикального виробництва біорієнтованих рукавних плівок (ЛОРП) на основі п'яти одночерв'ячних екструдерів, датчик тиску, голчаста і лучкова термомпари, технічні ваги, лінійка металева, мікрометр, секундомір..

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по виготовленню біорієнтованої рукавних плівок (ЛОРП), що базується на п'яти одночерв'ячних

екструдерах. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення рукавних плівок при цьому результати вимірів заносять до таблиць 5.2, 5.3.

Таблиця 5.2 – Умови роботи і характеристики процесу, лінії, рукава

Найменування	Розмірність	Показники
Ширина готового рукава (оболонки)	мм	
Ширина складеного первинного рукава	мм	
Товщина плівки первинного рукава	мм	
Товщина плівки оболонки	мм	
Діаметр черв'яка першого екструдера, D	мм	
Довжина черв'яка першого екструдера	Д	
Ступень стискування черв'яка		
Внутрішній діаметр матриці головки	мм	
Зовнішній діаметр дорна головки	мм	
Довжина формуючого зазору головки	мм	
Діаметр диска	мм	
Частота обертання черв'яка	хв ⁻¹	
Частота обертання шестерень	хв ⁻¹	
Тиск повітря при надуванні рукава p_{1n}	мм рт. ст	
Тиск повітря при орієнтації рукава p_{2n}	мм рт. ст	
Тиск повітря рукава p_{3n} (термофіксація)	мм рт. ст	

Таблиця 5.3 – Температура по зонах, розплаву, повітря, плівки

Виміри та ΔT	Температура, °C											Примітка	
	зон черв'яка					$T_{ш}$	$T_{г}$	$T_{р}$	$T_{д}$	$T_{е}$	$T_{тф}$		
	1	2	3	4	5								
0													T_3
1													T_{ϕ}
$\pm \Delta T$													
2													T_{ϕ}
$\pm \Delta T$													
3													T_{ϕ}
$\pm \Delta T$													
													макс $\pm \Delta T$

Примітка: $\Delta T = T_{\phi} - T_3$ – відхилення фактичних температур T_{ϕ} від температур заданих T_3

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формучого каналу плівкової головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, наявністю «поршневих кілець» на рулонах. При проведенні випробувань відбираються зразки біорієнтованої рукавної плівки, необхідні для перевірки її якості, розмірів.

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії ЛОРП по виробництву п'ятишарової двоосноорієнтованої рукавної плівки.
2. Відзначити основні параметри, кожного з п'яти екструдерів, що входять до складу лінії.
3. Виконати схематичне креслення основного формуючого елемента.
4. Відзначити всі основні стадії технологічної лінії, та відзначити всі основні елементи, що її забезпечують.
5. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
6. Заповнити таблицю 5.1.
7. Заповнити таблиці 5.2, 5.3, 5.4.
8. Розрахувати:
 - теоретичну G і фактичну продуктивність $G_{опн}$ ЛОРП;
 - перепад тиску Δp_ϕ у загальному формуючому каналі головки;
 - ступінь роздуву і витягування заготовки плівки.
 - заповнити таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Продуктивність лінії, параметри формування рукава

Виміри	g_{opn}	G_{opn}	ΔP	$H_{кр}$	$v_{ве}$	v_{opn}	S_p	δ_{opn}	ΔS_p	$\Delta \delta_{opn}$
0	–	роз	–	–	роз	–	–	–	–	–
1		–			–					
2		–			–					
3		–			–					
\bar{x}		–	\bar{x}	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

9. Здійснити порівняння результатів розрахунків і експерименту з продуктивності.

10. Оцінити коливання температури по зонах першого екструдера і останньої зони головки та їх вплив на продуктивність процесу і якість плівки.

11. Проаналізувати відповідність фактичних показників процесу виробництва та біорієнтованої рукавної плівки вимогам чинних ТР, ТУ.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Призначення і класифікація плівок, методи виробництва.
2. Особливості екструзійних технологій і обладнання. Їх класифікація.
3. Одночерв'ячні екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
4. Багаточерв'ячні екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
5. Дискові і комбіновані екструдери. Їх призначення, принцип роботи.
6. Фізичні процеси, які протікають в екструдерах. Вплив їх на якість розплаву і властивості виробів.
7. Основні параметри процесу екструзії.
8. Технологія виготовлення плівок роздувом.
9. Суекструзія рукавних плівок.

10. Вплив течії і реологічного стану розплаву на надмолекулярну структуру полімеру, на якість формування рукавних плівок.

11. Формування плівкового рукава витягуванням та роздувом. Орієнтація рукавних плівок при роздуві.

12. Способи охолодження рукавних плівок. Методи переводу рукава в плоский стан.

13. Вплив умов формування і охолодження на надмолекулярну структуру і властивості плівок.

14. Вимоги до намотування. Способи розкладки різнотовщинності по ширині рулону.

15. Види браку при виготовленні рукавних плівок.

16. Розрахунок основних параметрів виробництва рукавних плівок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПЛОСКИХ ПЛІВОК

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню плоских плівок. Ознайомлення з принципами роботи екструзії плоских плівок. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Методом екструзії через плоскощілинну головку одержують так звану плоску плівку, яка використовується як товарна продукція, що йде безпосередньо в споживання, так і у вигляді аморфної заготовки

(напівфабрикат) для наступної орієнтації. У цій роботі розглядається технологія виготовлення спеціально неорієнтованої як одношарової, так і багатошарової плоскої плівки, яка використовується в різних галузях господарства, побуту.

Одношарова плоска плівка, отримана швидким охолодженням при зануренні в ванну з водою або при подачі (поливу) розплаву на полірований вал, має низку позитивних властивостей, наприклад, високу прозорість і глянець, підвищену жорсткість і міцність та ін. Завдяки даним властивостям її широко застосовують у якості пакувального матеріалу. Багатошарові суекструзійні плоскі плівки досить розповсюджені, тому що при одношаровій конструкції плівки неможливо забезпечити всі вимоги, наприклад, з механичних і дифузійно-барерних властивостей, адгезії з підложкою і між шарами, термічної усадки для пакувальних плівок. Для забезпечення необхідних властивостей кожного з шарів, підбирається полімер, що найбільш відповідає вказаним вимогам, і вони збираються в багатошарову структуру. Кожен шар у плівці має своє призначення.

Виготовляють плоскі плівки переважно з поліпропілену, полівінілхлориду, поліетилентерефталату. При екструзії через плоскощілинну головку досягаються швидкості, що перевищують у 2...3 рази швидкості прийому рукавної плівки. Однак виготовлення широких (більш 2200 мм) плоских плівок пов'язано з великими технічними труднощами, особливо виготовлення формуючих головок та іншого комплектуючого обладнання ліній для виробництва плоских плівок (ЛПП).

Поряд з екструдерами, що представлені в попередніх лабораторних роботах, для підготовки розплаву при виготовленні плоских плівок застосовуються двочерв'ячні і двостадійні чотирьохчерв'ячні екструдери. На цих екструдерах переробляються порошкоподібні композиції полівінілхлориду.

По способу підводу розплаву до формуючого каналу головки поділяються на два основних типа: колекторні і трикутні („риб'ячий хвіст”). У колекторних головках розплав підводиться розподільником (колектором) в

основному циліндричної форми, розташованого паралельно фронту щілини. Розплав подається в колектор через середину або з якого-небудь його кінця.

У трикутних головках розплав з вхідного каналу попадає до перехідного – клину (перехід від круглого перерізу до овального з шириною, яка дорівнює ширині формуючого каналу) і далі до формуючого каналу.

Оскільки з формою потоку розплаву в каналі плоскощілинних головок відбуваються значні зміни (від круглою на вході до плоскої на виході), то лінії току окремих потоків розплаву мають різну довжину. Очевидно, що розплав, який виходить з середини формуючої щілини, має мінімальну довжину ліній току і максимальну швидкість виходу, а розплав, що виходить на кінцях щілини, – максимальну довжину і мінімальну швидкість. Ця різниця швидкостей приводить до поперечної різнотовщинності виробу, що формується.

Зниження різнотовщинності досягається використанням, наприклад, пружної або рухомої губки, регулюючих вкладишів, регулюючих болтів для зміни положення вкладишів та ін. Зараз фінішне регулювання товщини плоскої заготовки в більшості випадків здійснюється автоматично з застосуванням регулюючих термічних болтів.

Блоки процесу екструзії плоских плівок. До складу блоків процесу входять: завантаження гранул полімеру до екструдеру (екструдерів); підготовка розплаву в екструдері (екструдерах); підведення розплаву від екструдерів до головки; формування заготовки плоскої плівки; формоутворення плоскої плівки; охолодження (термообробка) плоскої плівки; прийом плоскої плівки; намотування плівки в рулони.

Для аналізу процесу, що відбувається у блоці «формування заготовки плоскої плівки», розглядаються його модулі, а саме: живлення розплавом головки, розподіл розплаву, стабілізація потоку розплаву, формування плоскої заготовки.

Операції блоків процесу і модулів блока «формоутворення первинного рукава»; реалізуються на відповідних машинних блоках і конструкційних та безконтактних модулях.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку, модулю їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній, У реальних процесах таке співвідношення реалізувати важко. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, з аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес: геометрія черв'яка; частота обертання черв'яка; опір формуючої головки; ширина, довжина і висота плоского формуючого каналу; температура по зонах циліндру і головки; відстань від виходу заготовки з плоскої щілини головки до поверхні поливного барабана (до води в охолоджувальній ванні); температура поверхні барабана (води); швидкість прийому плівки; зусилля натягування плівки при намотуванні.

Параметри поведінки об'єктів переробки: продуктивність процесу, температура розплаву, тиск у розплаві на межі екструдера і головки, ступінь подовжнього витягування плівки, утворення «поршневих кілець» на рулоні плівки, фактична ширина полотна плівки після її обрізання, товщина плівки, споживана потужність процесу, питомі витрати енергії.

Розрахунок продуктивності процесу. Теоретична продуктивність лінії для виробництва плоскої плівки визначається з рівнянь (1.1) і (1.2) по теоретичній продуктивності екструдера (пам'ятаємо, що $G \geq G_0$), а фактична – по продуктивності фінішних операцій процесу, яка задається або визначається якістю гомогенізації розплаву, можливостями системи охолодження плівки.

На стадії намотування плівки фактична продуктивність процесу G_{nn} дорівнює

$$G_{nn} = g_{nn}t, \quad (6.1)$$

де g_{nn} – величина наважки плівки, одержаної за час t , кг/год.

При відомій швидкості прийому плоскої плівки v_{nn} продуктивність процесу G_{nn} можна визначити з рівняння

$$G_{nn} = F v_{nn} \rho_{nn}, \quad (6.2)$$

де F – площа поперечного перерізу плівкового полотна, см^2 ; v_{nn} – швидкість прийому (витягування і намотування) рукава, м/хв. ; ρ_{nn} – густина матеріалу плівки, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при виготовленні рукавної плівки по розрахунку з рівнянь (6.1) або (6.2) складає порядку 70% від максимальної з рівняння (1.2), у тому числі зниження фактичної продуктивності відбувається і завдяки необхідності обрізання кромek полотна.

Визначення розмірів плоскоциліндричних головок. До основних розмірів головок відносяться:

– головки колекторного типу: ширина B_3 , довжина L_k , і висота формуючого зазору h_3 каналу, радіус колектору R ;

– головки трикутного типу: ширина B_3 , довжина L_m і висота формуючого зазору h_3 каналу, половина кута при вершині клину каналу α , висота клину h_k .

При конструюванні головок для виготовлення плоских плівок спочатку визначають геометричні розміри формуючого каналу, виходячи з умов сталості витрат у всіх перерізах каналу. Для перерізів каналу формуючого зазору і плоскої плівки ці умови виглядають так

$$B_3 h_3 v_{ve} \rho_3 = B_{nn} \delta_{nn} v_{nn} \rho_{nn}, \quad (6.3)$$

де B_3 і B_{nn} – ширина відповідно формуючого зазору і плоскої плівки без відрізки кромek, см ; h_3 і δ_{nn} – висота відповідно формуючого зазору і товщина плоскої плівки, см ; v_{ve} і v_{nn} – швидкість руху відповідно розплаву в головці (вільна екструзія) і плоскої плівки при прийомці, см/с ; ρ_3 і ρ_{nn} – густина відповідно розплаву в формуючому зазорі при температурі екструзії та одержаної плівки при температурі приміщення, г/см^3 .

Швидкість вільної екструзії v_{ve} розраховується з витрат розплаву при течії через формуючий канал і геометрії останнього

$$v_{ge} = \frac{G_{nn}}{B_3 \cdot h_3}. \quad (6.4)$$

У рівнянні (6.3) виділимо наступні відношення:

$$\varepsilon_6 = v_{nn}/v_{ge}, \quad (6.5)$$

$$\varepsilon_2 = \rho_{nn}/\rho_3, \quad (6.6)$$

де ε_6 – ступінь подовжнього витягування заготовки плоскої плівки; ε_2 – зміна густини матеріалу в процесі виробництва плоскої плівки.

На основі рівнянь (6.3), (6.5) і (6.6) отримуємо вираз для визначення висоти зазору формуючого каналу

$$h_3 = \delta_{nn} \varepsilon_6 \varepsilon_2. \quad (6.7)$$

Рівняння для визначення довжини формуючого зазору колекторної головки

$$L_k = \frac{\Delta p h_3}{2\mu} \left[\frac{h_3^2 b m}{2G \left(1 + 2m \right)} \right]^m, \quad (6.8)$$

де Δp – перепад тиску в формуючому каналі (визначається з таблиці 3.1), МПа; μ – ефективна в'язкість розплаву, МПа·с; b – половина ширини формуючого каналу, см; m – реологічна константа; G – продуктивність процесу, см³/с.

Трикутні головки. Ширина формуючого зазору каналу B_3 і висота зазору h_3 визначаються відповідно з рівнянь (6.3) і (6.7), довжина – з рівняння (6.8).

З визначення інших параметрів нижче приведені наступні рекомендації, які дають змогу розрахувати геометрію робочих каналів головки:

– висота перехідного каналу (клину) h_k , як правило, у 2,5...4 рази більше висоти формуючого зазору h_3 ;

– з умов стабілізації потоку розплаву в формуючому каналі і мінімізації розбухання екструдату довжина формуючого зазору L_m пов'язана з h_3 співвідношенням $L_m \geq (8...15) h_3$;

– кут при вершині клину каналу α вибирається з умови відсутності в перехідному каналі зони застою розплаву („мертвих зон”): $\alpha < 45^\circ \dots 60^\circ$.

Розрахунок перепаду тиску в головці. Для формування плоскої плівки здійснюється аналогічно розрахунку Δp з лабораторної роботи 3 «Технологія виробництва гладких труб».

Споживана потужність N_c^{mn} найбільш енерговитратних електродвигунів ЛПП – це сума споживаних потужностей екструдера N_c^e , повітродувки N_c^{no} тягнучого пристрою N_c^{mn} , намотувального пристрою N_c^{nn} , кВт:

$$N_c^{nn} = N_c^e + N_c^{no} + N_c^{mn} + N_c^{nn} . \quad (6.9)$$

Питомі витрати ЛПП q_{mn} (кВт/(кг/год)) визначаються за рівнянням

$$q_{mn} = N_c^{nn} / G_{mn} . \quad (6.10)$$

Контроль процесу і якості продукції. Процес виробництва плоскої плівки контролюється за його відповідністю вимогам технологічного регламенту. Якість екструдату оцінюється візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючого каналу головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, за наявністю «поршневих кілець» на рулонах.

При проведенні випробувань відбираються зразки плоскої плівки, необхідні для перевірки її якості, розмірів.

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовуються в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 6.1, а також теплоносій для термостатування прийомно-охолоджуючого барабана, його теплофізичні характеристики.

Таблиця 6.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для виробництва плоских плівок на основі одночерв'ячного екструдера, датчик тиску, голчаста і лучкова термомпари, технічні ваги, лінійка металева, мікромметр, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по виготовленню плоских плівок (ЛПП), що базується на одночерв'ячному екструдері. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення плоских плівок при цьому результати вимірів заносять до таблиць 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Умови роботи і характеристики процесу, лінії, виробу

Найменування	Розмірність	Показники
Ширина плівки	мм	
Товщина плівки	мм	
Діаметр черв'яка, D	мм	
Довжина черв'яка	Д	
Висота формуючого зазору	мм	
Ширина формуючого зазору	мм	
Довжина формуючого зазору	мм	
Частота обертання черв'яка	хв^{-1}	
Відстань між головкою і барабаном	мм	
Частота обертання барабана	хв^{-1}	
Ширина заготовки плівки на барабані	мм	
Ступінь витягування плівки ε_b		
Витрати теплоносія на термостатування барабана	$\text{м}^3/\text{год}$	
Ширина плоскої плівки	мм	
Ширина відрізаних кромки	мм	
Зусилля натягу плівки при намотуванні	Н/см	
Зусилля натягу плівки при намотуванні	Н/см	

Таблиця 6.3 – Температура по зонах, розплаву, теплоносія, плівки

Виміри та ΔT	Температура, °С										Примітка
	зон черв'яка					ГОЛОВКИ		T_p	T_{ϕ}	$T_{н\phi}$	
	1	2	3	4	5	6	7				
0											T_z
1											T_{ϕ}
$\pm \Delta T$											
2											T_{ϕ}
$\pm \Delta T$											
3											T_{ϕ}
$\pm \Delta T$											
											<i>макс $\pm \Delta T$</i>

Примітка: $\Delta T = T_{\phi} - T_z$ – відхилення фактичних температур T_{ϕ} від температур заданих T_z

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючого каналу плівкової головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, наявністю «поршневих кілець» на рулонах. При проведенні випробувань відбираються зразки плоскої плівки, необхідні для перевірки її якості та розмірів.

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії ЛПП та формуючого елементу.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 6.1.
4. Заповнити таблиці 6.2, 6.3, 6.4.
5. Розрахувати:
 - теоретична G і фактична продуктивність G_{nn} ЛПП;

- висота h_p і ширина B_3 формуючого зазору;
 - перепад тиску Δp у формуючому каналі плоскощілинної головки;
 - робоча точка екструдер – плоскощілинна головка;
 - споживана лінією енергія N_c^{nn} ;
 - питомі енерговитрати q_{nn} ;
 - ступінь витягування заготовки плівки.
- заповнити таблиці 6.5, 6.6.

Таблиця 6.5 – Продуктивність лінії, параметри формування плівки

Виміри	g_{nn}	G_{nn}	ΔP	v_{se}	v_{nn}	δ_{pn}	$\Delta\delta_{nn}$
0	–	роз	–	роз	–	–	–
1		–		–			
2		–		–			
3		–		–			
\bar{x}		–	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

Таблиця 6.6 – Споживана потужність, питомі енерговитрати

Виміри	V_e	V_b	V_{nn}	A_e	A_b	A_{nn}	N_c^{nn}	q_{nn}
0	–	–	–	–	–	–	роз	роз
1							–	–
2							–	–
3							–	–
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	–	–

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

6. Здійснити порівняння результатів розрахунків і експерименту з продуктивності, тиску на межі екструдер – головка, споживаної потужності, питомих енерговитрат.

7. Оцінити коливання температури по зонах циліндру екструдера і головки та їх вплив на продуктивність процесу і якість плівки.

8. Проаналізувати відповідність фактичних показників процесу виробництва та плоскої плівки вимогам чинних ТР, ТУ.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Технологія виготовлення плівок плоскощільним методом. Особливості підготовки розплаву.
2. Формування плоскої заготовки плівки. Конструкції формувальних головок. Суекструзія.
3. Вплив течії і реологічного стану розплаву на надмолекулярну структуру полімеру, на якість формування плоских плівок.
4. Формування полотна плівки розтягуванням.
5. Охолодження плоских плівок.
6. Одно- та двостадійна орієнтація, види орієнтованих плівок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

„ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ДВООСНООРІЄНТОВАНИХ ПЛОСКИХ ПЛІВОК”

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню двоосноорієнтованих плоских плівок. Ознайомлення з принципами роботи екструзії двоосноорієнтованих плоских плівок. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Як відзначалося вище, плоскощільний метод виробництва плівок застосовується і для одержання заготовок для структурної модифікації полімеру – орієнтації з метою значного покращення фізико-механічних властивостей, розширення можливостей використання. Змінюючи ступень і напрямки орієнтації, які визначаються температурою орієнтації, швидкістю і ступенем подовжнього та поперечного витягування, а також швидкістю (тепом) охолодження, можна одержати плівки з різними фізико-механічними та іншими показниками. При орієнтації плоских плівок є значно більше можливостей для модифікації властивостей, ніж при орієнтуванні рукавних.

Сучасне устаткування дозволяє одержувати двоосноорієнтовану (біосноорієнтовану або біпрієнтовану) плоску одно- або багат шарову плівку товщиною 1,0...100 мкм, шириною до 10 м, зі швидкостями виготовлення до 500 м/хв і продуктивності до 3000 кг/год і більше.

Теоретично не існує перешкод для орієнтаційного витягування плоских плівок з будь-якого аморфного або кристалічного термопласту. Практична ж реалізація орієнтації залежить від здатності термопласту витримати необхідну деформацію без руйнування. Орієнтовані плоскі плівки одержують в основному з поліпропілену, поліетилентерефталату, поліетилену, полістиролу. Плівки з цих полімерів, нагріті до певної температури, піддаються механічному розтягу – деформуванню в одному або двох напрямках з наступним їх охолодженням (аморфні) або термофіксацією і охолодженням (кристалічні). Найбільш поширена орієнтація у подовжньому і поперечному напрямках плоских плівок з застосуванням двох принципово відмінних технологічних схем: одно- або двостадійних. У цій роботі розглянемо двоосне розтягування плівки, за яким орієнтація відбувається в одному технологічному процесі, але роздільно – окремо подовжня та поперечна. Така схема діє на ВАТ «Укрпластик», м. Київ.

Коротко про фізико-хімічні основи процесу. У вихідному ізотропному стані макромолекули перебувають у вигляді клубка або у вигляді кристалітів, розподілених в аморфній частині і зв'язаних між собою прохідними

макромолекулами. При направленому витягуванні сегменти макромолекул аморфних полімерів розпрямляються, а прохідні частини макромолекул кристалічних полімерів натягуються, чому сприяє процес їх рекристалізації при нагріванні.

Орієнтація кристалічних полімерів проходить через утворення шийки, а аморфних, в залежності від умов, або через утворення шийки (вимушена еластичність), або без неї (висока еластичність). При утворенні шийки товщина вихідної заготовки різко зменшується. Якщо шийка не утворюється, то товщина змінюється плавно, пропорційно зміні ступеню витяжки. Якщо температура полімеру, при якій відбувається витяжка, дуже висока або ж швидкість витягування дуже мала, то при деформуванні сегменти макромолекул не будуть розпрямлятися, тобто вони будуть встигати відрелаксувати – тобто знову згорнутися.

Заключна операція процесу орієнтації – термофіксація структури полімерів, що кристалізуються. Мета термофіксації – максимально знизити усадку плівки, тобто мінімізувати наявність у плівці залишкових внутрішніх напружень. Термофіксація плівки здійснюється при більш високій температурі, ніж температура, при якій відбувається її поперечна орієнтація. Для полімерів, що не кристалізуються, останньою технологічною операцією є охолодження з метою замороження орієнтованого стану сегментів макромолекул.

Мала товщина біорієнтованої плівки (БОП), велика ступінь її орієнтації (подовжня, без врахування фільєрної орієнтації – 4...6; поперечна – 8...10) висувають більш жорсткі вимоги до якості вихідної сировини, до технології переробки і відповідного технологічного обладнання у порівнянні з одержанням звичайних плівок. Так одержання одношарової або основного шару багат шарової БОП вимагає при підготовці розплав більш значну довжину черв'яка (до 30...40 діаметрів) з наявністю динамічних або статичних зсувних і змішувальних елементів, майлеферівських черв'яків, каскадних або комбінованих екструдерів. Розплав піддається тонкій фільтрації, та може подаватися до головки за допомогою шестеренних насосів, у тому числі через

розподільчий статичний змішувач. На вході в сукструзійну головку потоків розплавів від екструдерів здійснюються контроль температури і тиску, їх корегування зміною параметрів процесу екструзії. Високі швидкості одержання БОП вимагають автоматичного регулювання формуючого зазору головки, яке здійснюється з допомогою термічних болтів за сигналом від товщиноміру плівки.

Формоутворення (відливання) заготовки для орієнтації здійснюється при регламентованій температурі на поливному барабані, який частково занурений в ванну охолодження, де заготовка остаточно охолоджується. На повітряній ділянці між головкою і барабаном відбувається фільтрне витягування плівкового полотна, яке призводить до попередньої молекулярної орієнтації заготовки.

Процеси орієнтації плівки за двостадійною роздільною (послідовною) технологією починаються з її подовжнього розтягування, яке здійснюється на валках завдяки різниці їх швидкостей. Камера, в якій відбувається подовжня орієнтація, має три ділянки: підігріву заготовки, її витягування, термостабілізації подовжньо орієнтованої плівки. Валки, які задіяні в процесі, за швидкістю поділяється на відносно повільні, швидкі і надшвидкі. Тобто орієнтування здійснюється поетапно, ніби по сходах.

Подовжнеорієнтована плівка поступає на поперечне розтягування, де її два бокових краї захоплюються спеціальними затискачами (клубами), які знаходяться на двох замкнених ланцюгах, що рухаються по направляючим рейках. Далі плівка проходить через ділянки підігріву, поперечного розтягування, термостабілізації і охолодження. При виготовленні термоусадочних плівок ділянка термостабілізації виконує функції попереднього охолодження.

Звільнена від клубів БОП переходить на валки остаточно охолодження, обрізки, активації поверхні, намотування. Довжина ліній для одержання БОП досягає десятків метрів, тому обслуговування її при заправленні, перезавантаженні є складною справою. Такі лінії оснащені додатковими,

проміжними намотувальними пристроями, а саме: при одержанні заготовки для орієнтації; в машинах подовжньої і поперечної орієнтації плівки.

Блоки процесу біорієнтації плоских плівок. До складу першого рівня блоків процесу входять: підготовка і завантаження вихідної полімерної сировини до екструдерів; підготовка розплаву в екструдерах; підвід розплаву до головки; формування з розплаву заготовки плоскої аморфної плівки; формоутворення заготовки плівки; охолодження аморфної заготовки плівки; подовжня орієнтація плівки; поперечна орієнтація плівки; термофіксація двоосноорієнтованої плівки; охолодження одержаної плівки; обрізка кромки плівки і їх подрібнення; намотування плівки в рулони.

Для аналізу процесу, що відбувається у блоці «поперечна орієнтація плівки», розглядаються його модулі, а саме: підігріву, поперечного розтягу, термостабілізації і охолодження.

Операції блоків процесу і модулів блока «поперечна орієнтація плівки» реалізуються на відповідних машинних блоках і конструкційних модулях.

При збалансованій інтенсивності кожного блоку, модулю їх продуктивність в ідеальному варіанті дорівнює одна одній, У реальних процесах таке співвідношення реалізувати важко. Умови досягнення мети – максимально збалансовані продуктивності блоків при якості виробу, що відповідає чинним ТУ. Пошук «вузьких» мість процесу здійснюється з аналізу інтенсивності кожного з блоків, модулів, з аналізу їх внеску як негативного, так і позитивного в якість кінцевої продукції.

Фактори впливу на процес орієнтації: гомогенність і чистота розплаву; температура і тиск розплаву на межі екструдерів та головки; температура поверхні поливного валу та теплоносія в ванні охолодження; температура заготовки плівки при її фільтрному, подовжньому та поперечному розтязі; ступінь фільтрної і подовжньої та поперечної орієнтації заготовки; швидкість деформації заготовки при подовжній і поперечній орієнтації; температура орієнтованої плівки при термофіксації; час витримки плівки при температурі

термофіксації; температура і темп охолодження плівки; швидкість прийому плівки; різнотовщинність плівки; зусилля натягування плівки при намотуванні.

Параметри поведінки об'єктів процесу орієнтації: продуктивність процесу, фізико-механічні властивості, зокрема, усадки орієнтованої плівки, щільність рулона при намотуванні, фактична ширина полотна плівки після її обрізання, товщина плівки, наявність «поршневих кілець» на рулоні плівки.

Розрахунок продуктивності процесу. Продуктивність процесу G дорівнює

$$G = F \cdot v_{onn} \cdot \rho_{onn}, \quad (7.1)$$

де F – площа поперечного перерізу полотна орієнтованої плівки без обрізаних країв, см^2 ; v_{onn} – швидкість прийому плівки, м/хв. ; ρ_{onn} – густина матеріалу плівки, г/см^3 .

Продуктивність процесу орієнтації складає порядку 60% від максимальної продуктивності комплексної лінії (з виготовленням заготовки для орієнтації). Причини зменшення виходу біорієнтованої плівки – необхідність обрізки кромки полотна і значні технологічні відходи при числених заправленнях-перезаправленнях полотна та під час виходу на задані режими.

Вибір температурних режимів орієнтації зазвичай здійснюється на основі емпіричних даних. Так для аморфних полімерів для визначення температури подовжньої орієнтації T_1 користуються нерівністю

$$T_1 \geq T_c + (5 \dots 10 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (7.2)$$

де T_c – температура склування полімеру, $^\circ\text{C}$.

Для кристалічних полімерів T_1 вибирається з нерівності

$$T_1 \leq T_{nl} - (10 \dots 20 \text{ } ^\circ\text{C}), \quad (7.3)$$

де T_{nl} – температура плавлення полімеру, $^\circ\text{C}$.

Емпірична залежність, що зв'язує температуру поперечної орієнтації T_2 з T_1 має вигляд

$$T_2 = T_1 + (20 \dots 30 \text{ } ^\circ\text{C}). \quad (7.4)$$

Ступінь подовжньої витяжки ε_1 визначається зі співвідношення лінійних швидкостей входу v_1 і виходу v_2 плівки в машину для подовжньої орієнтації

$$\varepsilon_1 = v_2 / v_1. \quad (7.6)$$

У залежності від типу полімеру, способу орієнтації і обладнання існують гранично допустимі величини ε_1 , вище яких зразок руйнується. Критичні ε_{1p} і ε_1 , що рекомендуються, для різних полімерів приведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1. Значення граничних (розривних) ε_{1p} і рекомендованих ε_1 .

Полімер	ε_{1p}	ε_1
ПЕВГ	15...17	5...7
ПЕНГ	14...16	7...8
ПП	13...17	6...8
ПЕТФ	6...7	4
ПС	4...6	3
ПК	5...6	3,5...4
ПІ	3,5...4	1,5...2
ПММА	2,2...2,5	1,8...2

Ступінь поперечної витяжки ε_2 визначається зі співвідношення

$$\varepsilon_2 = B_k / B_0, \quad (7.7)$$

де B_k – ширина полотна плівки після поперечної орієнтації (відстань між клупами), см; B_0 – ширина полотна заготовки на вході в машину поперечної орієнтації (відстань між клупами), см.

При поперечній орієнтації плівки, що вже має певну ступінь подовжньої орієнтації (послідовний спосіб орієнтації), вибір ε_2 в значній мірі залежить від величини ε_1 . Чим вище ε_1 , тим нижче критична ε_2 . Змінюючи ε_1 і ε_2 можна отримати плівку з різними фізико-механічними властивостями в обох

напрямок. Нижче дані залежності максимального значення ε_2 від вихідного значення ε_1 для плівок з поліпропілену (ПП), поліетилентерефталату (ПЕТФ), полііміду (ПІ) відповідно:

$$\varepsilon_{2ПП} = 13,5 - \varepsilon_1 \quad (7.8)$$

$$\varepsilon_{2ПЕТФ} = 6,5 - \varepsilon_1 \quad (7.9)$$

$$\varepsilon_{2ПІ} = 3,5 - \varepsilon_1 \quad (7.10)$$

Швидкість (темп) деформації плівки при подовжній v_1 і v_2 поперечній витяжці визначаються зі співвідношень

$$v_1 = \frac{l_k - l_0}{t_1}, \quad (7.11)$$

де l_k і l_0 – розміри робочої ділянки плівки після і до витягування, см; t_1 – час деформування плівки при подовжній витяжці, с.

$$t_1 = \frac{\Delta L_n}{v_2}, \quad (7.12)$$

де ΔL_n – відстань між тихохідною і швидкохідною парами валків машини подовжньої орієнтації, см.

$$v_2 = \frac{B_k - B_0}{t_2}, \quad (7.13)$$

де t_2 – час деформації плівки при поперечній витяжці, с.

$$t_2 = \frac{L_p}{v_2}, \quad (7.14)$$

де L_p – довжина ділянки машини поперечної орієнтації, де відбувається поперечне розтягування плівки клупами, см.

Час термофіксації $t_{m\phi}$ визначається за формулою

$$t_{m\phi} = \frac{L_{m\phi}}{v_2}, \quad (7.15)$$

де $L_{m\phi}$ – довжина зони термофіксації, см.

Якщо при деякій $T_{m\phi}$ значення $t_{m\phi}$ більше оптимального, то поряд з кристалізацією відбувається і суттєва розорієнтація ланцюгів макромолекул або їх сегментів. Теж саме відбувається, якщо $T_{m\phi}$ завищена. І навпаки, якщо $T_{m\phi}$ і

$t_{m\phi}$ окремо або разом недостатньо високі, повна кристалізація не відбудеться і плівка буде мати значну усадку.

Для термофіксації двоосноорієнтованих плівок із ПЕТФ застосовують $T_{m\phi} = 210...240^\circ\text{C}$, що на $60...20^\circ\text{C}$ менше T_{nl} , але при цьому $t_{m\phi} = 5...20$ с. Для ПП $T_{m\phi} = 150...165^\circ\text{C}$. Високі $T_{m\phi}$ застосовують для зниження $t_{m\phi}$, а це дозволяє скоротити довжину зони термофіксації.

Темп охолодження орієнтованої плівки впливає на процеси кристалізації полімерів, що кристалізуються, в зонах між орієнтованими сегментами макромолекул. У випадку полімерів, що не кристалізуються, від темпу охолодження залежать їх властивості, внаслідок особливостей утворення надмолекулярних структур. Розраховується темп охолодження v_o за наступними формулами:

$$v_o = \frac{T_{m\phi} - T_{np}}{t_o} \text{ або } v_o = \frac{T_2 - T_{np}}{t_o}, \quad (7.16)$$

де T_{np} – температура орієнтованої плівки у приміщенні, $^\circ\text{C}$; t_o – час охолодження плівки, с.

$$t_o = \frac{L_o}{v_2}, \quad (7.17)$$

де L_o – довжина зони охолодження плівки, см.

Контроль процесу і якості продукції. Процес виготовлення біорієнтованої плівки контролюється за його відповідністю технологічному регламенту. Якість плівки оцінюється за відповідністю розмірів і якості плівки та рулону вимогам ТУ (вимірюються товщина плівки у подовжньому та поперечному напрямках, ширина, їх відхилення від номіналу, визначається усадка плівки і її анізотропія та ін.), а зовнішній вигляд – візуально, за наявністю «поршневих кілець» на рулонах.

При проведенні випробувань відбираються зразки плівки, необхідні для перевірки їх розмірів, якості.

Зразки та матеріали

Гранули полімеру, що використовуються в даний час на підприємстві.

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 7.2, а також теплоносій для термостатування прийомно-охолоджуючого барабана, його теплофізичні характеристики.

Таблиця 7.2 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для виробництва біорієнтованих плоских плівок (ЛОПП) на основі екструдерів, датчик тиску і температури розплаву, голчаста і лучкова термометри, технічні ваги, лінійка металева, мікрометр, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по виготовленню тришарових біорієнтованих плоских плівок (ЛОПП), що базується на каскадному екструдері до якого входять первинний і вторинний одночерв'ячні екструдери (для основного шару) та двох одночерв'ячних екструдерах (поверхневі шари). Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення біорієнтованих плоских плівок при цьому результати вимірів заносять до таблиць 7.3, 7.4, 7.5.

Таблиця 7.3 – Умови роботи і характеристики лінії, виробу

Найменування	Розмірність	Показники
Ширина заготовки плівки	мм	
Ширина орієнтованої плівки	мм	
Товщина заготовки плівки	мм	
Товщина орієнтованої плівки	мм	
Ширина обрізаних кромок	мм	
Діаметр черв'яка головного екструдера D	мм	
Довжина черв'яка D	D	
Висота формуючого зазору	мм	
Ширина формуючого зазору	мм	
Довжина формуючого зазору	мм	
Частота обертання черв'яка головного екструдера D	хв^{-1}	
Швидкість прийому заготовки плівки	м/хв	
Швидкість прийому орієнтованої плівки	м/хв	

Таблиця 7.4. Температурний режим процесу

Виміри	Температура, °C										Примітка	
	T_{Γ}		T_p	T_B	T_{σ}	T_{Π}			T_{Γ}			
	1	2				1	2	3	1	2		3
0												задані температури
1												
2												
3												
												відхилення

Таблиця 7.5. Продуктивність лінії, опір головки, розміри труби

Виміри	Вага плівки, г/1м	G , кг/год	Опір головки, МПа	p , МПа	Товщина плівки, мкм	Різновтовщинність, мкм	Примітка
0	–						розрахунок, ТУ
1		–	–				
2		–	–				
3		–	–				
		–	–				відхилення

Відзначають також якість екструдату оцінюючи візуально за суцільністю і регулярністю виходу розплаву з формуючого каналу плівкової головки. Якість плівки та рулонів визначається за відповідністю розмірів плівки і зовнішнього вигляду вимогам ТУ, наявністю «поршневих кілець» на рулонах. При проведенні випробувань відбираються зразки плоскої плівки, необхідні для перевірки її якості та розмірів.

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 7.6.

Таблиця 7.6 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії ЛОПП та формуючого елемента. Описати основні складові частини даної лінії та їх призначення.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 7.2.
4. Заповнити таблиці 7.3, 7.4, 7.5, 7.6.
5. Розрахувати:
 - теоретична G і фактична продуктивність G_{nn} ЛОПП;
 - висота h_p і ширина B_z формуючого зазору;
 - перепад тиску Δp у формуючому каналі плоскощільної головки;
 - робоча точка екструдер – плоскощільна головка;
 - споживана лінією енергія N_c^{nn} ;
 - питомі енерговитрати q_{nn} ;
 - швидкість вільної екструзії, v_{ee}
 - ступінь витягування заготовки плівки.
 - заповнити таблиці 7.7, 7.8.

Таблиця 7.7 – Продуктивність лінії, параметри формування плівки

Виміри	g_{nn}	G_{nn}	ΔP	v_{se}	v_{nn}	δ_{pn}	$\Delta\delta_{nn}$
0	–	роз	–	роз	–	–	–
1		–		–			
2		–		–			
3		–		–			
\bar{x}		–	\bar{x}	–	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

Таблиця 7.8 – Споживана потужність, питомі енерговитрати

Виміри	V_e	$V_{\bar{o}}$	V_{nn}	A_e	$A_{\bar{o}}$	A_{nn}	N_c^{nn}	q_{nn}
0	–	–	–	–	–	–	роз	роз
1							–	–
2							–	–
3							–	–
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	–	–

Примітка: роз – розрахункові значення; \bar{x} – середньоарифметичне значення.

6. Проаналізувати відповідність фактичних показників процесу виробництва та біорієнтованої плоскої плівки вимогам чинних ТР, ТУ.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Технологія виготовлення плівок плоскощільним методом. Особливості підготовки розплаву.
2. Формування плоскої заготовки плівки. Конструкції формувальних головок. Сукструзія.
3. Вплив течії і реологічного стану розплаву на надмолекулярну структуру полімеру, на якість формування плоских плівок.
4. Формування полотна плівки розтягуванням.

5. Охолодження плоских плівок.
6. Одно- та двостадійна орієнтація, види орієнтованих плівок.
7. Вплив умов формування, охолодження та орієнтації на надмолекулярну структуру і властивості плівок.
8. Види браку при виготовленні плоских плівок.
9. Розрахунок основних параметрів виробництва плоских плівок.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

„ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ЛИСТІВ І РУЛОННИХ МАТЕРІАЛІВ”

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по виготовленню листів і рулонних матеріалів. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Листи та рулонні матеріали, як і плоскі плівки, виготовляються екструзією крізь плоскощілинні головки. Розподіл на листи і рулонні матеріали – умовний, тобто при віднесення до листів, або рулонних матеріалів враховується не тільки його товщина, але і здатність до намотування. Під здатністю до намотування розуміється відсутність постійних деформацій і/або механічних пошкоджень продукції при її намотуванні. Враховуючи плавність переходу одної характеристики до іншої, умовна межа між ними може бути проведена при значеннях товщини в межах 0,4...1,0 мм.

Листи і рулонні матеріали (далі – листи) використовуються як напівфабрикат для термоформування об'ємних виробів (коробки, посуд, ємності, деталі холодильників, меблі, облицювання та ін.), так і як товарна продукція, що йде безпосередньо до споживання в якості оздоблювального матеріалу, стінок, перегородок.

Діапазон товщини полімерних листів складає близько 0,4...10 мм, виготовляються вони переважно з УПС, АБС-пластика, ПВХ та його сополімерів, ПО, ПА, ПК, ПЕТФ, ПБТФ, ПММА та ін.

Типова технологічна схема процесу складається з одночерв'ячного екструдера (для гранульованих полімерів), бажано з зоною дегазації; горизонтальної плоскощілинної формуючої головки; вертикального трьохвалкового гладильного каландру; рольгангу для охолодження листа; двохвалкового тягнучого пристрою; пристрою для рулонування або штабелювання виробу. Цим складовим елементами відповідають певні технологічні операції: підготовка розплаву, формування заготовки листа, формоутворення листа та його охолодження (можливо з застосуванням «повітряного душа»), а також супроводжуючі їх технічні операції: подовжня відрізка крамок листа, його витяжка, поперечна відрізка певної довжини листа, його рулонування або штабелювання.

Процес одержання листа наступний. Розплав полімеру, підготовлений в екструдері, протискується крізь головку, у вигляді плоского полотна проходить коротку (по можливості) повітряну ділянку між головою і каландром (з метою запобігання провисання полотна) і подається в зазор між першим (верхнім) і другим валками каландра. Далі полотно охоплює половину поверхні другого валка, попадає у зазор між другим і третім валками і переходить на поверхню третього валка, звідкіль поступає на рольганг, по якому переміщується тягнучим пристроєм. На рольгангу дисковими ножами відрізається кромка листа (при необхідності – розрізання листа на стрічки необхідного формату), після тянучих валків відбувається поперечна різка листа, його укладання в штабель.

Відмінною рисою даного процесу є наявність в схемі гладильного каландру, функції якого значно відрізняються від функцій силового каландру, безпосередньо призначеного для формування листів каландруванням. На гладильному каландрі відбувається тільки вирівнювання та глясування поверхонь з частковим калібруванням товщини заготовки листа після виходу з головки, попереднє охолодження листа до стану, достатнього для опору зусиллям витягування та усадочних явищ на ділянці між каландром і тягнучим пристроєм. Краще, коли всі валки каландру мають індивідуальний привід з частотою обертання валків, що регулюється. Зазори між валками також регулюються за рахунок переміщення верхнього і нижнього валків. Питомий тиск калібрування дорівнює 200...1000 Н/см. При екструзії заготовки полімерного листа екструдат на виході з головки розбухає (10...12%), різниця з товщини заготовки відбирається підвищеною швидкістю руху листа в каландрі і, відповідно, по рольгангу. Це веде до підвищення анізотропії механічних властивостей. Вихід – термообробка листа на якомусь з етапів.

Для формування заготовки листа частіше застосовуються колекторні головки, які бувають прямими, типу «вішалки» або «риб'ячого хвоста». Їх переріз має форму циліндра або каплі. Поряд зі звичайними вимогами до плоскощілинних головок, важливим є ємність колектору (колектор – накопичувач розплаву, аналог повітряного ресиверу), відстань його від початку формуючого зазору, конфігурація його поперечного перерізу. Для регулювання величини формуючого зазору використовують губки, одна з яких обов'язково виконується рухома, для оперативного впливу на тиск у головці і швидкості виходу розплаву по ширині формуючого каналу між ним і колектором установлюється рухома дроселююча призма.

Багатошаровий екструдат може вироблятися з допомогою традиційних головок, з'єднаних з адаптером (розплавопроводом) для подання в головку різних потоків розплаву від декількох екструдерів. У головці ці потоки зливаються, утворюючи багатошаровий лист.

Поверхня валків каландру хромується і ретельно полірується з метою попередження прилипання полімеру і віддрукування на листі дефектів поверхні валків. Для запобігання утворення матових плям і стрічок на листі валки повинні всю поверхню торкатися заготовки листа як у зазорі, так і по поверхні контакту з листом. Причиною їх появи при якісних валках є відсутність суцільного валику «запасу» розплаву перед першим зазором між валками каландра. Ліквідується цей дефект підвищенням продуктивності екструдера або зменшенням зазору між валками. Нерівномірність температури поверхні валків каландру є причиною короблення листа. Причиною загортання його країв в середину є більш швидке охолодження країв, ніж середини листа.

Важливим фактором, що впливає на фізико-механічні властивості листа, є усадка листа при охолодженні на рольгангу (при переробці поліолефінів – на 3...4%). Внаслідок чого швидкість руху на виході з каландру повинна бути на цей відсоток вище, ніж швидкість прийому тягнучими валками.

Технологічні параметри екструзії листів: температура зон циліндра і головки; температура розплаву; тиск у розплаві на межі екструдер-головка; відстань між формуючим зазором головки і міжвалковим зазором каландра, величина утяжки (звуження) заготовки листа на цієї ділянці, температура валків циліндра; швидкість прийому листів; частота обертання черв'яка.

Розрахунок продуктивності процесу. Вибирається один або два з трьох варіантів визначення продуктивності: у першому та другому варіантах розрахунок (проектний) ведеться з рівнянь (2.1) і (2.2) за продуктивністю екструдера, у третьому (розрахунок перевірочний) – за продуктивністю заключних операцій процесу, яка визначається межами якості змішування компонентів, критичною турбулентністю розплаву при екструзії заготовки листа, можливістю систем охолодження листа.

За третім варіантом продуктивність процесу G дорівнює

$$G = Fv\rho, \quad (8.1)$$

де F – площа поперечного перерізу листа, см^2 ; v – швидкість прийому листа, м/хв. ; ρ – густина матеріалу листа, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при виготовленні листа за розрахунком з рівняння (8.1) складає порядку 80% від максимальної з рівняння (2.2), у т.ч. зниження фактичної продуктивності відбувається із-за обрізки кромки.

Визначення розмірів головки колекторного типу. До основних розмірів головки відносяться: ширина B_o , довжина L_k і висота формуючого зазору h_o каналу, радіус колектору R ;

При конструюванні головки спочатку визначають геометричні розміри формуючого каналу, виходячи з умов сталості витрат у всіх перерізах каналу. Для перерізів каналу формуючого зазору і листа ці умови мають вигляд:

$$B_o h_o v_o \rho_o (T) = B_z \delta_z v_z \rho_z(T) = B \delta v \rho(T), \quad (8.2)$$

де B_o , B_z і B – ширина відповідно формуючого зазору, заготовки листа на вході в міжвалковий зазор каландра і листа на вході в міжвалковий зазор тягнучого пристрою, см ; h_o , δ_z і δ – відповідно висота формуючого зазору, товщина заготовки листа на вході в міжвалковий зазор каландра і листа на вході в міжвалковий зазор тягнучого пристрою, см ; v_o , v_z і v – швидкість руху відповідно розплаву в головці, заготовки листа на вході в міжвалковий зазор каландру і листа на вході в міжвалковий зазор тягнучого пристрою, см/с ; $\rho_o(T)$, $\rho_z(T)$ і $\rho(T)$ – густина відповідно розплаву при температурі екструзії і заготовки листа ($\rho_o(T) \approx \rho_z(T)$) та листа при температурі приміщення, г/см^3 .

У рівнянні (8.2) виділимо наступні відношення:

$$\varepsilon_3 = v_3/v_0; \quad (8.3)$$

$$\varepsilon_y = v/v_3; \quad (8.4)$$

$$\varepsilon_2 = \rho_3(T)/\rho_0(T); \quad (8.5)$$

де ε_3 – ступінь подовжньої витяжки заготовки листа ; ε_2 – зміна густини матеріалу в процесі формування заготовки листа; ε_y – ступінь подовжньої усадки листа на рольгангу.

На основі рівнянь (8.2), (8.3) і (8.5) отримуємо вираз для визначення висоти зазору формуючого каналу

$$h_0 = \delta \varepsilon_3 \varepsilon_2. \quad (8.6)$$

Для отримання заготовки листів з мінімально можливою анізотропією властивостей в поперечному та подовжньому напрямках довжину формуючої частини головки при конструюванні можна розраховувати з урахуванням процесу релаксації макромолекул у розплаві (рівняння (5.13)).

Рівняння для визначення довжини формуючого зазору має вигляд:

$$L_k = \frac{\Delta p h_0}{2\mu} \left[\frac{h_0^2 b m}{2G + 2m} \right]^m, \quad (8.7)$$

де Δp – перепад тиску в формуючому каналі (визначається з рівняння (4.8) і таблиці 4.1), МПа; μ – ефективна в'язкість розплаву, МПа·с; b – половина ширини формуючого каналу, см; m – реологічна константа; G – продуктивність процесу, см³/с.

Рівняння для визначення радіусу колектору у відповідності з заданим індексом різновіщинності U ($U=0,95$)

$$R = \left[\frac{2\mu b}{(-U^m \Delta p)^{n+1}} \left(\frac{G(m+1)}{\pi m} \right)^m \right]^{\frac{1}{3m+1}} \quad (8.8)$$

Споживана потужність процесу виготовлення листів N_c визначається з рівняння (2.9), питомі енерговитрати – з рівняння (2.10).

Контроль технологічного процесу ведеться за: суцільністю і регулярністю виходу розплаву по ширині з формуючої плоскощільної головки; ступенем розбухання потоку на виході; температурою розплаву; співвідношенням швидкостей екструзії розплаву, руху заготовки листа в каландрі, прийому листа; режимом охолодження листа.

Якість листа оцінюється за: відповідністю розмірів листа та окремих його фізико-механічних властивостей технічним умовам (ширина, товщина листа, їх відхилення від номіналу, наявність пульсації продуктивності; ширина кромки під обрізку, анізотропія усадки та ін.); зовнішнім виглядом листа (стан поверхні, наявність короблення, плям, смуг).

Зразки та матеріали

Гранули композиції на основі полімеру (визначається при проведенні роботи).

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для виробництва листів на основі черв'ячного екструдеру з листовальною формуючою головкою, з контрольно-вимірювальними приладами; технічні ваги, лінійка металева, штангенциркуль, мікромметр; термометр зі шкалою виміру від -10 до $+50^{\circ}\text{C}$, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по виготовленню листів, що базується на одночерв'ячному екструдері. Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу виготовлення листів при цьому результати вимірів заносять до таблиць 8.2, 8.3, 8.4, 8.5.

Таблиця 8.2. Температурний режим тех. процесу підготовки розплаву, °С

Виміри	Зони екструдера					Зони фільтра		Зони переходника		Примітка
	1	2	3	4	5	1	2	1	2	
0										задані температур
1										
2										
3										
										відхилення, ± °С
										відхилення, ± %

Примітка: Враховується макс. і мін. відхилення від значення кожної заданої тем-ри.

Таблиця 8.3 Умови роботи та окремі характеристики лінії

Показники	Розмірність	Значення
Ширина листа	мм	
Товщина листа	мм	
Ширина обрізної кромки	мм	
Діаметр черв'яка, Д	Д	
Довжина черв'яка	мм	
Ширина формуючого зазору	мм	
Довжина зазору (з документації)	мм	
Висота зазору	мм	
Частота обертання черв'яка	хв ⁻¹	
Відстань формуючого зазору від міжвалкового зазору каландра	мм	
Діаметр валків каландра	мм	
Довжина валків каландра	мм	
Довжина рольгангу	мм	
Діаметр рулону	мм	
Температура повітря в приміщенні	°С	

Таблиця 8.4. Температурний режим формування і формоутворення листа, °С

Виміри	Зони головки								Валки каландру			Т _р	Т _л	Примітка
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3			
0														задані т-ри
1														
2														
3														
														відхил., ± °С
														відхил., ± %

Примітка: Враховується макс. і мін. відхилення від значення кожної заданої тем-ри.

Таблиця 8.5. Продуктивність лінії, опір формуючого зазору, розміри листа

Виміри	Вага листа, г/м	G, кг/год	Опір головки, МПа	Ширина листа, мм	Товщина листа, мкм	Різнововщинність листа, ± мм		Примітка
						поп.	под.	
0	–			–	–			розрахунок, з ТУ
1		–	–					
2		–	–					
3		–	–					
		–	–					середньо арифметичне

Примітка: Враховується макс. і мін. поперечна і подовжня різнововщинність листа.

Відзначають також суцільність та регулярність виходу розплаву по ширині з формуючої плоскощільної головки; ступінь розбухання потоку на виході; температуру розплаву; співвідношення швидкостей екструзії розплаву, руху заготовки листа в каландрі, прийому листа; режим охолодження листа. Якість листа оцінюють по відповідності розмірів листа та окремих його фізико-механічних властивостей технічним умовам (ширина, товщина листа, їх відхилення від номіналу, наявність пульсації продуктивності; ширина кромки під обрізку, анізотропія усадки та ін.); зовнішньому вигляду листа (стан поверхні, наявність короблення, плям, смуг).

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 8.6.

Таблиця 8.6 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії та формуючого елемента. Описати основні складові частини даної лінії та їх призначення.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 8.1.
4. Заповнити таблиці 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6.
5. Розрахувати:
 - теоретична G і фактична продуктивність G_{nm} ;
 - виконати перевірочний розрахунок продуктивності процесу;
 - визначити споживану потужність головного двигуна, питому потужність;
 - розрахувати розміри формуючого каналу головки, перепад тиску в ньому;
6. Проаналізувати відповідність одержаних результатів вимогам відповідних ТР і ТУ.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Призначення листів та рулонних матеріалів, вихідні полімери для їх виготовлення.

2. Відмінність листів від рулонних матеріалів та плоских плівок, технологій їх виготовлення.
3. Особливості формоутворення листів.
4. Відмінність гладильних каландрів від силових, формуючих.
5. Основні елементарні технологічні операції виготовлення листів.
6. Основні машинні модулі технологічної лінії для виробництва листів.
7. Розрахунок продуктивності лінії для виробництва листів.
8. Розрахунок довжини формуючого каналу.
9. Розрахунок діаметра колектора головки.
10. Роль накопичувача розплаву в формуванні заготовки листа.
11. Методи визначення і усунення анізотропності властивостей листа.
12. Види основних дефектів листа, причини їх появи і методи усунення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

„ТЕХНОЛОГІЯ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ НА СЕРДЕЧНИК”

Мета роботи

Ознайомитися з технологією і обладнанням лінії по нанесенню покриття на сердечник. Ознайомлення з принципами роботи екструзії по нанесенню покриття на сердечник. Визначити технологічні і конструкційні параметри даного процесу. Скласти протокол випробувань.

Теоретичні відомості

Екструзійні лінії для нанесення ізоляційних покриттів на різноманітні сердечники мають головки з кільцевим поперечним формуючим перерізом. Шар розплаву полімеру наносять на циліндричний сердечник (дріт, скрутка

дротів, стрижень, трубу), який протягується скрізь центральний отвір у головці, який спеціально призначений для цього. Найбільш поширеними областями використання таких ліній є нанесення ізоляції на електричні провідники, світловоди для оптоволоконних мереж; антикорозійні покриття труб; одержання металополімерних труб та туб, та інше. Як правило, екструдер у таких лініях розташовується під кутом від 30 до 90° до напрямку руху сердечника.

Більш детально дану технологію розглянемо на прикладі лінії для ізоляції електричних дротів, шнурів, кабелів. Найбільш широке використання в кабельній промисловості для ізоляції отримали наступні пластмаси – поліетилен, полівінілхлорид, сополімери етилену з вмістом поліпропілену, композицій поліетилену з поліізобутиленом, поліаміди, фторопласти та ін.

Ізоляція кабельної продукції (на прикладі дроту) відбувається на екструзійних лініях. Звичайна лінія складається з пристроїв для віддачі дроту, його випрямлення та підігріву, екструдера, формуючої головки, ванни охолодження, тянучого пристрою, компенсатора, приймального пристрою.

З барабану віддаючого пристрою металевий дріт через напрямний ролик поступає в пристрій для випрямлення, а далі – в підігрівач дроту. Віддавач дроту має гальмове пристосування, яке служить для постійного натягу дроту та попередження розкручування барабану при зупинці лінії. На відрегульованому гальмі натяг мідного дроту не повинен перевищувати 3...4 кг/мм², а алюмінієвого – 2...4 кг/мм². Зайвий натяг гальма і отримання при цьому значного натягу дроту (більш 5...9 кг/мм²), хоч і дозволяє забезпечити більш рівномірне нанесення ізоляції, особливо на однодротову жилу, однак приводить до витягування дроту на 1...2%, причому витягування може бути нерівномірним.

Для кращої адгезії і для попередження утворення на металевому дроті повітряних включень, особливо при нанесенні ПЕ-ізоляції, перед формуючою головкою встановлюється пристосування для підігріву дроту електричним

током через систему роликів, на які подається необхідна напруга. Нагрітий до 100...150°C дріт поступає в головку.

Підготовка розплаву полімеру здійснюється в одночерв'ячних екструдерах, (що аналогічні розглянутим раніше при виробництві труб, плівок, листів). Живлення екструдерів здійснюється гранульованими полімерами. Вологість вихідного ПЕНТ повинна бути не більше 0,2%, ПЕВТ – 0,1%. При завантаженні в екструдер зволоженого матеріалу процес його переробки погіршується, в ізоляції утворюються пори, а поверхня ізолюваного дроту стає негладкою.

У головці розплав (температура для ПЕ 180...210°C) у вигляді оболонки витискується скрізь кільцевий зазор між піноллю та матрицею і наноситься на дріт. Головки для формування покриття існують двох типів: напірні і трубні.

У напірних головках дріт покривається розплавом ще в каналі екструзійної головки, де є достатньо великий тиск. Перевага процесу – підвищена адгезія полімеру до дроту.

У головках трубного типу кільцева заготовка виходить навколо дроту і покриває останній за межами головки. Це відбувається за рахунок витягування екструдата при відводі дроту з покриттям тянучим пристроєм. Іноді для покращення адгезії процес проводять під вакуумом. Цей метод часто використовується для нанесення високов'язкого покриття на пучок вже ізолюваних дротів (здійснюється друге покриття), дуже тонкі дроти, а також на металеві труби.

Обов'язковою деталлю головок як першого так і другого типів є направляюча піноль (полий дорн, вкладиш), яка центрує рух дроту. У головці першого виду основна роль пінолі – попередження протитоку розплаву в зазор між дротом і внутрішньою стінкою отвору пінолі. Піноль у цьому випадку мало впливає на точність центрівки дроту (товщину шару покриття). Величина зазору зазвичай складає біля 0,05 мм. Піноль у головці трубного типу краще центрує дріт, але при цьому зникає можливість використати тиск в головці для опресування розплаву.

Як і в інших екструзійних головках (кільцевих, плоскощілинних), при нанесенні покриттів важливо забезпечити рівномірний вихід розплаву по периметру формуючого зазору. У зв'язку з тим, що в кабельних лініях в основному використовуються кутові головки, дорни і колектори яких виконуються в формі кардіоїди (серцеподібна конфігурація). За колектором кільцева щілина звужується до дроту (площа перерізу зазору зменшується), щоб поступово підвищити швидкість розплаву і зрівняти її зі швидкістю протягування дроту.

Охолоджуюча ванна (ванни), до якої попадає дріт після нанесення пластмасової оболонки, повинна мати таку довжину, щоб при вибраному режимі охолодження і швидкості покриття оболонка встигла по всій товщині остудитися до 60...70°C. Недостатнє охолодження приведе до зміщення дроту у оболонці відносно її вісі, або зминання ізоляції. ПЕ-ізоляцію охолоджують ступінчасто – спочатку в гарячій воді при 95...85°C, потім при 75...65°C, а далі при 50...40°C. Кінцеве охолодження відбувається в проточній воді. Таке ступінчасте охолодження запобігає утворенню тріщин (повітряних включень) у внутрішніх шарах ПЕ-ізоляції, які приводять до зниження її електричної міцності.

Після ванни ізолюваний дріт поступає в пристрій для обдування з нього води, а далі на тянучий пристрій. З останнього дріт через компенсатор спрямовується на прийомний пристрій.

З розглянутого можна виділити певні технологічні операції: підігрів дроту і його витягування, підготовка розплаву, формування заготовки покриття, формоутворення ізолюваного дроту та його охолодження, а також основні супроводжуючі їх технічні операції: розмотування (віддавання) дроту, його випрямлення, намотування ізолюваного дроту на барабан.

Технологічні параметри екструзійного нанесення ізоляційних покриттів на сердечники: температура дроту на вході в головку, зусилля витягування дроту, температура зон циліндру і головки; температура розплаву, частота обертання черв'яка, тиск у розплаві на межі екструдер – головка, ступень

розрядження при вакуумуванні зазору між дротом і полімерною оболонкою, ступінь витягування полімерної заготовки, температура по зонах ванни охолодження, швидкість прийому дроту.

Розрахунок продуктивності процесу. Вибирається один або два з трьох варіантів визначення продуктивності: у першому та другому варіантах розрахунок (проектний) ведеться з рівнянь (2.1) і (2.2) за продуктивністю екструдера, у третьому (розрахунок перевірочний) – за продуктивністю заключних операцій процесу, яка визначається межами якості змішування компонентів, критичною турбулентністю розплаву при екструзії заготовки листа, можливістю систем охолодження листа.

За третім варіантом продуктивність процесу G дорівнює

$$G = Fv\rho, \quad (9.1)$$

де F – площа поперечного перерізу кільцевого покриття дроту, см^2 ; v – швидкість прийому дроту, м/с ; ρ – густина матеріалу покриття, г/см^3 .

Звичайно реальна продуктивність лінії при здійсненні покриття дроту за розрахунком з рівняння (9.1) складає порядку 80% від максимальної з рівняння (2.2).

Визначення розмірів кабельної головки. У результаті дії перепаду тиску і тягнучої дії дроту, що рухається, розплав тече скрізь формуючий кільцевий зазор кабельної головки і утворює на дроті покриття товщиною δ , причому δ може бути як рівною, так і нерівною h_o (радіальний формуючий зазор між дротом і матрицею). Для розрахунку розмірів головки використаємо рівняння для течії розплаву з колектору між паралельними пластинами, одна з яких рухається. Такий підхід можливий у випадку, коли h_o значно менший у порівнянні з середнім діаметром радіальноформуючого зазору. Цей підхід дає змогу частково застосувати рівняння попередньої лабораторної роботи.

До основних розмірів головки відносяться: середній периметр радіального формуючого зазору b_o , його довжина каналу L_k і висота формуючого зазору h_o .

При конструюванні головки спочатку визначають геометричні розміри формуючого каналу, виходячи з умов сталості витрат у всіх перерізах каналу. Для перерізів каналу формуючого зазору і покриття ці умови у відповідності з законом нерозривності мають вигляд:

$$b_o h_o v_o \rho_o (T_e) = B \delta v \rho(T_n), \quad (9.2)$$

де b_o і b – середній периметр відповідно формуючого зазору і покриття на вході в міжтраковий зазор тянучого пристрою, см; h_o і δ – відповідно висота формуючого зазору і покриття на вході в міжтраковий зазор тянучого пристрою, см; v_o і v – швидкість руху відповідно розплаву в головці і дроту, см/с; $\rho_o(T_e)$, і $\rho(T_n)$ – густина відповідно розплаву при температурі екструзії і матеріалу покриття при температурі приміщення, г/см³.

З рівняння (9.2) виділимо наступні відношення:

$$\varepsilon_3 = v/v_o; \quad (9.3)$$

$$\varepsilon_2 = \rho(T)/\rho_o(T); \quad (9.4)$$

де ε_3 – ступінь подовжньої витяжки заготовки покриття; ε_2 – зміна густини матеріалу в процесі формування заготовки покриття і його формоутворення. На основі рівнянь (9.2), (9.3) і (9.4) отримуємо вираз для визначення висоти зазору формуючого каналу:

$$h_o = \delta \varepsilon_3 \varepsilon_2. \quad (9.5)$$

Гідравлічний розрахунок і вибір розмірів формуючого каналу кабельних головок має особливість, обумовлену протягуванням дроту через формуючий канал. Якщо тиск у каналі головки P (у тому числі і P_ϕ на вході в формуючий канал дорівнює нулю, то витрата розплаву через формуючий канал, незважаючи на це, не буде рівні. нулю, тому що дріт, що протягується через канал зі швидкістю v , буде виносити з каналу розплав, що прилипає до нього. Цю складову витрати називають змушеною. Величину її G_3 можна визначити за формулою:

$$G_3 = \pi v (R - r) \bar{R}_{cep}, \quad (9.6)$$

де $R_{cep} = (R+r)/2$; R і r – радіус відповідно матриці формуючого каналу і дроту.

Якщо ж швидкість протягування дроту v дорівнює нулю, а на вході в формуючий канал є деякий тиск P_ϕ , то буде мати місце витрата розплаву через канал G_p , викликана перепадом тиску ΔP в каналі. Для спрощення перевірконого визначення інших розмірів головки приймемо умови течії розплаву в формуючому каналі як ізотермічні, а рідину – ньютонівською. Вираз для G_p у спрощеному вигляді можна отримати з рівняння для плоскої щілини

$$G_p = K \cdot P_\phi / \mu_e, \quad (9.7)$$

$$\text{де } h_o = (R-r); b_o = 2\pi R_{cep}; K = \frac{b_o h_o^3 F}{12(\mu_k + h_o)}; F = 0,13 \left(\frac{b}{b_o}\right)^2 - 0,71 \left(\frac{b}{b_o}\right) + 1.$$

Повна витрата у каналі G_k дорівнює сумі цих складових

$$G_k = G_3 + G_p \quad (9.8)$$

Очевидно, що витрата в формуючому каналі G_k рівна витраті G розплаву, який подається з екструдера до головки, тобто продуктивності екструдера (рівняння 9.1 або рівноцінного до нього рівняння (9.6)). Причому величина G , за правило, приймається максимально можливою для даного екструдера з умови максимальності продуктивності кабельної лінії в цілому.

Звернувши тепер увагу на рівняння (9.8), у якому ліва частина $G_k = G = \text{const}$, бачимо, що перший доданок (9.6) залежить від швидкості протягування дроту v , а другий (9.7) не залежить від неї. Це значить, що при зростанні v і, відповідно, першого доданку G_3 , другий доданок G_p неминуче повинен зменшитися, причому зменшиться він може тільки з причини зменшення P_ϕ . Нарешті, з ростом v значення P_ϕ може дорівнювати нулю або навіть бути негативним (тобто в каналі виникне розрядження). Це недопустимо,

тому що повітря, яке проникне через зазор між піноллю і дротом до формуючого каналу, погіршить зчеплення дроту і ізоляції.

Таким чином, очевидно, що на величину v повинно бути накладено обмеження $v < v_o$. Однак величина v не може прийматися довільною навіть при врахуванні цього обмеження. Вона однозначно пов'язана з продуктивністю екструдера G умовою одержання ізоляції потрібної товщини δ .

Споживана потужність процесу покриття дроту N_δ визначається з рівняння (2.9), *питомі енерговитрати* – з рівняння (2.10).

Контроль технологічного процесу ведеться за: суцільністю і регулярністю виходу розплаву по периметру з формуючої головки; товщиною покриття δ ; температурою розплаву T_p ; співвідношенням швидкостей екструзії розплаву і протягування дроту v/v_o ; температурним режимом охолодження ізольованого дроту по зонах.

Якість покриття оцінюється за: відповідністю розмірів ізольованого дроту, адгезією покриття до поверхні дроту технічним умовам; зовнішнім виглядом покриття (стан поверхні, наявність короблення, плям, смуг).

Зразки та матеріали

Гранули композиції на основі полімеру (визначається при проведенні роботи).

Дані ідентифікації вихідної сировини заносяться до таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 – Ідентифікація вихідної сировини

Вид пластмаси	Марка	Виробник (фірма, підприємство, держава)	Стан (порошок, гранули)	Показник текучості розплаву (ПТР)	Насипна густина

Обладнання, прилади та інструменти

Технологічна лінія для нанесення покриття на дріт на основі черв'ячного екструдера кабельною головкою, з контрольно-вимірювальними приладами;

технічні ваги, лінійка металева, штангенциркуль, мікрометр; термометр зі шкалою виміру від -10 до $+50^{\circ}\text{C}$, секундомір.

Методика роботи

Ознайомившись з принципом роботи та складом лінії по нанесенню покриття на дрід, до складу якої входить таке основне обладнання: пристрій для віддачі дроту, черв'ячний екструдер, головка для формування заготовки покриття, ванна для охолодження ізолюваного дроту, тянучий пристрій, Фіксують за приладами або вимірюють фактори впливу на процес і параметри поведінки процесу нанесення покриття на дрід, при цьому результати вимірів заносять до таблиць 9.2, 9.3, 9.4.

Таблиця 9.2 Характеристики виробу, обладнання лінії, умови його роботи

Показники	Розмірність	Значення
Діаметр вихідного дроту	мм	
Діаметр ізолюваного дроту	мм	
Товщина покриття	мм	
Діаметр черв'яка, Д	Д	
Довжина черв'яка	мм	
Діаметр формуючого зазору	мм	
Довжина зазору (з документації)	мм	
Висота зазору	мм	
Частота обертання черв'яка	хв^{-1}	
Температура повітря в приміщенні	$^{\circ}\text{C}$	

Таблиця 9.3 Температурний режим процесу покриття, $^{\circ}\text{C}$

Виміри	T_0	Зони екструдера					T_e	T_p	Зони ванни охолодження			Примітка
		1	2	3	4	5			1	2	3	
0												задані температури
1												
2												
3												
												відхилення, $\pm^{\circ}\text{C}$
												відхилення, $\pm\%$

Примітка: Враховується макс. і мін. відхилення від значення кожної заданої тем-ри.

Таблиця 9.4 Продуктивність лінії, опір формуючого зазору, розміри листа

Виміри	Вага листа, г/1м	G, кг/год	Опір головки, МПа	Ширина листа, мм	Товщина листа, мкм	Різновтовщинність листа, ± мм		Примітка
						поп.	под.	
0	–			–	–			розрахунок, з ТУ
1		–	–					
2		–	–					
3		–	–					
		–	–					середньо арифметичне

Примітка: Враховується макс. і мін. поперечна і подовжня різновтовщинність листа.

Відзначають також суцільність та регулярність виходу розплаву по перитетру з формуючої головки; товщину покриття; температуру розплаву; співвідношення швидкостей екструзії розплаву і протягування дроту; температурний режим охолодження ізолюваного дроту по зонах. Якість покриття оцінюють по відповідності розмірів ізолюваного дроту; адгезії покриття до поверхні дроту ТУ; зовнішнього вигляду покриття (стан поверхні, наявність короблення, плям, смуг).

Можливі дефекти, причини їх виникнення та методи усунення заносять до таблиці 9.5.

Таблиця 9.5 – Можливі дефекти, причини виникнення та методи усунення

Дефект	Причини виникнення	Методи усунення

Завдання

1. Виконати креслення принципової схеми технологічної лінії та формуючого елемента. Описати основні складові частини даної лінії та їх призначення.
2. Розбити технологічний процес на блоки та модулі.
3. Заповнити таблицю 9.1.
4. Заповнити таблиці 9.2, 9.3, 9.4, 9.5.
5. Розрахувати:

- теоретична G і фактична продуктивність G_m ;
- виконати перевірочний розрахунок продуктивності процесу;
- визначити споживану потужність головного двигуна, питому потужність;
- розрахувати розміри формуючого каналу головки, перепад тиску в ньому;

6. Проаналізувати відповідність одержаних результатів вимогам відповідних ТР і ТУ.

Висновки

Висновки формулюються на основі обробки результатів лабораторної роботи, оцінки досягнення її мети, виконання завдань студентами на роботу, результатів ефективності аналізу роботи блоків і модулів.

Контрольні запитання

1. Види виробів, отриманих цим методом, їх призначення.
2. Відмінність технологій нанесення покриттів від технології одержання труб.
3. Чому тема має назву про нанесення покриття на сердечник.
4. Особливості формоутворення покриття.
5. Типи головок. для нанесення покриттів.
6. Основні елементарні технологічні операції процесу нанесення покриттів.
7. Основні машинні модулі технологічної лінії для нанесення покриттів.
8. Розрахунок продуктивності лінії для нанесення покриттів.
9. Розрахунок діаметру матриці формуючого каналу.
10. Роль накопичувача розплаву в формуванні заготовки покриття.
11. Види основних дефектів покриття, причини їх появи і методи усунення.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Басов Н.И., Брагинский В.А., Казанков Ю.В. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: Учебник для вузов. - М.: Химия, 1991. – 352 с.
2. Басов Н.И., Брой В. Техника переработки пластмасс. – М.: Химия, 1985. – 528с.
3. Басов Н.И., Казанков Ю.В. Любартович В.А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: Учебник для вузов.– М.: Химия, 1986.–488 с.
4. Бортников В.Г. Основы технологии переработки пластических масс – Л.: Химия, 1983. – 303 с.
5. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические формулы в экономическом анализе. – М.: Статистика, 1979. – 447 с.
6. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Статистика, 1975. – 264 с.
7. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 568 с.
8. Красовский В.Н., Воскресенский А.М. Сборник примеров и задач по технологии переработки полимеров. – Минск: Вышэйшая школа, 1975. – 318 с.
9. Лукач Ю.Е., Петухов А.Д., Сенатос В.А. Оборудование для производства полимерных пленок. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
10. Лукач Ю.Е., Рябинин Д.Д. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. - М.: Машиностроение, 1965. – 363 с.
11. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров. - М.: Химия, 1965. – 442 с.
12. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / Пер. с англ. яз.; Под ред. В.П. Володина. – СПб.: Профессия, 2007. – 472 с.
13. Основы технологии переработки пластмасс: Учебник для вузов / С.В. Власов, Э.Л. Калинин, Л.Б. Кандырин и др. – М.: Химия, 1995. 528 с.

14. Переработка пластмасс/Шварц О., Эбелинг Ф.-В., Фурт Б.; Под общ. ред. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
15. Полякова К.А., Нипот Н.О. Технический анализ и контроль производства пленочных материалов и искусственных кож.– М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 192 с.
16. Производство изделий из полимерных материалов. Учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, А.Д. Паниматченко и др. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
17. Производство электрических кабелей и проводов с резиновой и пластмассовой изоляцией: И.Д. Троицкий, Л.С. Лахман, О.Ш. Бабицкий и др. – М.: Высш. школа, 1972. –384 с.
18. Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії. – К.: ІЗМН, 1999 – 220 с.
19. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер.с англ яз.; Под ред.А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
20. Смешение полимеров / Богданов В.В., Торнер Р.В., Красовский, В.Н., Регер Э.О. – Л.: Химия, 1979. – 192 с.
21. Справочник по пластмассовым трубам / Перевод с нем. под ред. Кима В.С. – Л.: Химия, 1985. – 248 с.
22. Суберляк О.В., Баштанник П.І. Технологія переробки полімерних і композиційних матеріалів. Підручник. – Львів: Видавництва «Растро-7», 2007. – 376 с.
23. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
24. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
25. Торнер Р.В., Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс.-М.: Химия, 1986. – 400 с.