

УДК [678.027+678.029]002.8.001.53

П.М. Магазій, І.О. Мікульонок,
Л.І. Ружинська

МОДЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ

Вступ

Рада Євросоюзу затвердила директиву, що змінює основи управління відходами і заохочує до їх повторного використання та утилізації і передбачає п'ятиступеневу ієрархію варіантів управління ними: попередження виникнення відходів; повторне використання; фізичну переробку; енергетичну та хімічну переробку; безпечне розміщення або захоронення їх [1]. Незважаючи на очевидну необхідність реалізації перших трьох варіантів, значну частку відходів ще піддають захороненню. Тільки в Україні щороку накопичується 35 млн м³ лише твердих побутових відходів, які захороняють на 770 полігонах загальною площею майже 3000 га і частково спалюють на сміттєспалювальних заводах [2].

Одним із важкоутилізовуваних видів відходів є полімерні. У зв'язку з постійним зростанням масштабів виробництва та асортименту полімерів і матеріалів на їх основі, а також необхідністю утилізації полімерних відходів набувають поширення нові термопластичні матеріали (ТпМ), в тому числі й термопластичні композиційні матеріали (ТпКМ). При цьому майже кожний полімер або композиція потребує певної конструкції робочих органів обладнання і режимів переробки, при яких досягається раціональне використання енергетичних і матеріальних ресурсів, а також необхідна якість продукції [3].

На кафедрі машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв НТУУ "КПІ" було здійснено теоретичні дослідження основного полімерпереробного обладнання для переробки ТпКМ [4–8], зокрема комплексної переробки вторинних полімерів у листові матеріали.

Постановка задачі

Мета модельних досліджень – експериментальна перевірка адекватності розроблених математичних моделей процесів переробки термопластичних композиційних матеріалів із за-

стосуванням вторинної сировини реальним процесам одержання, формування і термообробки названих матеріалів.

Модельні дослідження процесів виробництва листових ТпКМ із застосуванням вторинної сировини було здійснено на базі екструзійного і валкового обладнання кафедри МАХНВ і ВАТ «НВП "Більшовик"».

Опис модельної технологічної лінії і її основного обладнання

Модельна технологічна лінія призначена для дослідження процесу одержання листових матеріалів із застосуванням поліолефінів і різних наповнювачів, насамперед целюлозовмісних (деревної стружки, борошна, подрібненої макулатури тощо).

Виготовлення листового матеріалу на лінії залежно від методу одержання листової заготовки може бути реалізовано в такі способи (рис. 1):

- змішуванням наповнювача і одержуваного в дисковому екструдері розплаву полімеру, а також подальшим формуванням ТпКМ за допомогою одночерв'ячного екструдера та екструзійної головки;
- змішуванням наповнювача і одержуваного в дисковому екструдері розплаву полімеру, а також подальшим формуванням ТпКМ за допомогою змішувальних вальців;
- змішуванням наповнювача і полімеру, а також подальшим формуванням ТпКМ за допомогою змішувальних вальців.

За умови реалізації першого чи другого методів одержання листової заготовки гранули або отримані після подрібнення вторинної полімерної сировини частинки полімеру дозуються в дисковий екструдер. Далі одержаний розплав за допомогою розплавопроводу подається до одночерв'ячного екструдера після ділянки дозування в нього наповнювача (перший метод) або в міжвалковий проміжок змішувальних вальців (другий метод). У першому випадку розплав полімеру під тиском надходить в об'єм наповнювача, омиваючи його частинки, і ефективно розподіляється в міжвитковому просторі одночерв'ячного екструдера, що сприяє одержанню високогомогенізованого ТпКМ, який у в'язкоплинному стані за допомогою екструзійної головки формується в листову заготовку. У другому випадку розплав полімеру потрапляє в міжвалковий проміжок вальців, куди також дозується і наповнювач; листова заготовка при цьому одержується після вальцювання отриманого ТпКМ.

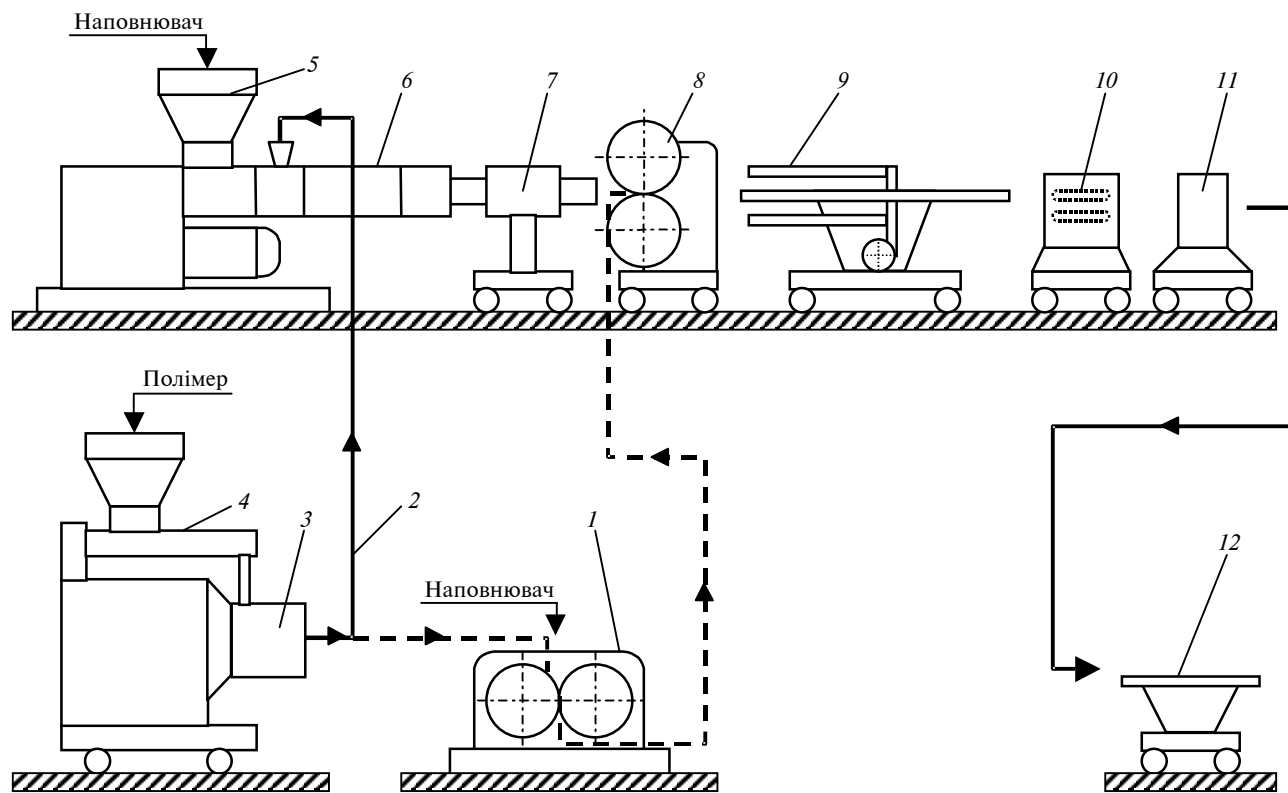


Рис. 1. Схема модельної технологічної лінії: 1 – змішувальні вальці; 2 – розплавопровід; 3 – дисковий екструдер; 4 – живильник полімеру; 5 – дозатор наповнювача; 6 – одночерв'ячний екструдер; 7 – екструзійна головка; 8 – гладильний каландр; 9 – охолоджувальний пристрій; 10 – тяговий пристрій; 11 – пристрій поперечного різання; 12 – нагромаджувальний пристрій

За умови реалізації третього методу одержання листової заготовки гранули або частинки полімеру і наповнювач одночасно дозуються в міжвалковий проміжок вальців. За рахунок теплообміну з валками і енергії дисипації полімер плавиться і поступово зміщується з наповнювачем. Після досягнення необхідної однорідності ТпКМ листової заготовка одержується зрізанням і відокремленням її від поверхні відповідного валка.

Листова заготовка, незалежно від методу її одержання, надходила на двовалковий гладильний каландр, потім на охолоджувальний і тяговий пристрій. Після цього охолоджена безперервна заготовка на пристрої поперечного різання розрізалась на мірні листи, які потім потрапляли в нагромаджувальний пристрій.

Каскадна екструзійна установка складалась з дискового екструдера з двошліпним обертовим диском діаметром 200 мм і шнековим живильником полімеру, а також одночерв'ячного екструдера (діаметр черв'яка 90 мм, довжина – 450 мм) із шнековим дозатором наповнювача і плоскошліпною екструзійною головкою.

Експериментальні дослідження калібрування і охолодження листової заготовки (за умови ре-

алізації першого або другого методів одержання листової заготовки), а також одержання листової заготовки і подальшого її калібрування та охолодження (за умови реалізації третього методу) проводилось на двовалковій машині типу вальців з діаметром і довжиною бочки 0,2 м і 0,25 м, відповідно [9].

Після валкової установки відформована листової заготовка потрапляла на охолоджувальний пристрій, який являє собою набір паралельних сталевих роликів, змонтованих на зварній основі з можливістю вільного обертання. Пристрій споряджено знімним кожухом, сполученим із нагнітальною магістраллю повітряного вентилятора.

Контрольовані параметри

Для каскадної екструзійної установки було визначено: кутову швидкість робочих органів екструдерів; кутову швидкість шнеків живильників; масову продуктивність установки; споживану потужність приводних електродвигунів; температуру корпусу дискового екструдера і циліндра одночерв'ячного екструдера; температуру розплаву на виході з дискового екструдера і темпера-

туру композиції на виході з одночерв'ячного екструдера; тиск на вході в екструзійну головку одночерв'ячного екструдера.

Для валкової установки визначались колова швидкість валків, споживана потужність електродвигуна, температура валків, температура матеріалу на вході в міжвалковий проміжок, величина міжвалкового проміжку, величина розпірних зусиль і крутних моментів, а для охолоджувального пристрою – товщина листового матеріалу і температура листового матеріалу по його товщині.

Дослідження процесу одержання ТпКМ на екструзійній установці

Експериментальні дослідження здійснювались для поліолефінів: поліетилен низької густини (ПЕНГ) марки 15803–020 ГОСТ 16337, поліетилен високої густини (ПЕВГ) марки 277–73 ГОСТ 16338 і поліпропілен марки 21030 ГОСТ 26996. За наповнювач було взято фракціоновану на ситах деревну тирсу з розміром частинок до 1 мм, а також папір поверхневої густини 75 г/м^2 з розміром частинок до 5 мм. Вміст наповнювача в перероблюваному ТпКМ змінювався від 21 до 60% (за масою). Було встановлено, що температурний режим переробки залежить від виду полімеру і ступеня його наповнення. Із збільшенням масової частки наповнювача від 30 до 60% необхідно збільшувати температуру розплаву на 10–30°C (кутову швидкість диска на 20–30 об/хв) для забезпечення зростання температури ТпКМ над температурою плавлення полімеру на 10–20°C. Результати визначення температурного режиму переробки різних ТпКМ за масової продуктивності 15 кг/год наведено в табл. 1.

Дослідження процесу одержання ТпКМ на валковій установці

Дослідження проводилось для таких композицій (за масою):

- 1) вторинний ПЕНГ – 60% і дубова тирса – 40%;
- 2) вторинний ПЕВГ – 60% і дубова тирса – 40%;
- 3) вторинний ПЕНГ – 30%, вторинний ПЕВГ – 30% і дубова тирса – 40%.

Реологічні властивості полімерів досліджуваних композицій, які проводились методом капілярної віскозиметрії на приладі типу ИИРТ-3, такі:

- 1) вторинний ПЕНГ:

$$T = 160^\circ\text{C}; K = 1,15 \cdot 10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,38;$$

$$T = 180^\circ\text{C}; K = 3,38 \cdot 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,72;$$

- 2) вторинний ПЕВГ:

$$T = 160^\circ\text{C}; K = 2,69 \cdot 10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,23;$$

$$T = 180^\circ\text{C}; K = 6,96 \cdot 10^3 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,96,$$

де K – коефіцієнт консистенції, визначений за температури T ; n – індекс течії.

Що стосується реологічних властивостей одержуваних ТпКМ, які можуть суттєво відрізнятися від властивостей полімерів, що утворюють матрицю ТпКМ, то на практиці доцільно застосовувати результати дослідів, проведених безпосередньо на відповідному переробному обладнанні. Враховуючи сказане, реологічні властивості одержуваних ТпКМ були визначені в результаті обробки експериментальних даних процесу вальцювання.

У результаті обробки експериментальних даних було отримано такі реологічні властивості досліджених ТпКМ (за масою):

- 1) вторинний ПЕНГ – 60% і дубова тирса – 40%:

$$T = 117^\circ\text{C}; K = 1,34 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,245;$$

$$T = 137^\circ\text{C}; K = 6,35 \cdot 10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,345;$$

Таблиця 1. Температурний режим переробки ТпКМ за продуктивності 15 кг/год

Композиційний матеріал			Температура, °C					
Полімер	Наповнювач	Масова частка наповнювача	Дисковий екструдер			Черв'ячний екструдер		
			корпус	диск	розплав	корпус	головка	розплав
ПЕНГ	Тирса	0,5	160	180	185	170	180	185
ПЕВГ	Тирса	0,4	170	190	190	180	190	195
ПП	Тирса	0,3	180	190	195	180	195	195
ПЕНГ	Папір	0,5	160	180	185	175	185	185
ПЕНГ	Папір	0,5	160	180	185	170	180	185

2) вторинний ПЕВГ – 60% і дубова тирса – 40%:

$$T = 131^{\circ}\text{C}; K = 1,11 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,305;$$

$$T = 147^{\circ}\text{C}; K = 2,74 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,103;$$

3) вторинний ПЕНГ – 30%, вторинний ПЕВГ – 30% і дубова тирса – 40%:

$$T = 143^{\circ}\text{C}; K = 5,54 \cdot 10^5 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,027;$$

$$T = 157^{\circ}\text{C}; K = 4,86 \cdot 10^4 \text{ Па}\cdot\text{с}^n; n = 0,484.$$

Як видно, реологічні характеристики наповнених ТпКМ із застосуванням вторинної си-

ровини істотно відрізняються від характеристик первинних полімерів.

Досліджені матеріали належать до наповнених ТпМ, тому їх теплофізичні властивості визначались залежно від властивостей компонентів, складу і структури матеріалу [10].

З табл. 2 видно, що основні енергосилові параметри процесу вальцювання ТпКМ – питомі (на одиницю довжини бочки валків) розпірні зусилля і потужність – зростають із збільшенням

Таблиця 2. Енергосилові параметри процесу вальцювання ТпКМ

Колова швидкість валків, м/с	Ширина ТпКМ, мм	Міжвалковий проміжок, мм	Температура заднього валка, °С	Температура переднього валка, °С	Температура ТпКМ в вхіді в проміжок, °С	Величина обертового запасу ТпКМ, мм	Питомі розпірні зусилля, кН/м	Питома потужність, Вт/м
Вторинний ПЕНГ – 60% (за масою) і дубова тирса – 40% (за масою)								
0,03	210	0,43				25	37,2	571
0,04	200	0,41				25	35,7	675
0,05	210	0,40	116	118	117	28	43,9	857
0,06	210	0,35				24	47,8	881
0,07	230	0,34				28	60,3	935
0,03	245	0,46				25	22,1	286
0,04	240	0,44				25	27,1	396
0,05	240	0,42	136	138	137	27	35,5	667
0,06	235	0,39				25	43,7	702
0,07	240	0,39				28	44,6	729
Вторинний ПЕВГ – 60% (за масою) і дубова тирса – 40% (за масою)								
0,03	185	0,41				25	46,8	595
0,04	190	0,41				24	45,6	605
0,05	190	0,40	130	132	131	23	47,9	737
0,06	200	0,40				21	48,7	775
0,07	165	0,38				26	57,8	939
0,03	155	0,45				21	40,7	129
0,04	160	0,44				23	41,5	156
0,05	160	0,44	146	148	147	22	41,4	375
0,06	170	0,43				20	45,2	441
0,07	170	0,43				19	46,4	559

Кінець табл. 2

Колова швидкість валків, м/с	Ширина ТпКМ, мм	Міжвалковий проміжок, мм	Температура заднього валка, °С	Температура переднього валка, °С	Температура ТпКМ + вході в проміжок, °С	Величина обертового запасу ТпКМ, мм	Питомі розпірні зусилля, кН/м	Питома потужність, Вт/м
Вторинний ПЕНГ – 30% (за масою), вторинний ПЕВГ – 30% (за масою) і дубова тирса – 40% (за масою)								
0,03	155	0,51				22	44,1	516
0,04	165	0,50				20	41,4	606
0,05	165	0,50	144	142	143	21	43,5	697
0,06	170	0,49				22	44,0	735
0,07	160	0,49				20	48,2	969
0,03	170	0,50				22	38,3	235
0,04	170	0,49				24	38,3	441
0,05	185	0,50	156	158	157	19	37,0	541
0,06	180	0,49				18	39,9	750
0,07	175	0,51				19	41,0	771

колових швидкостей валків і із зменшенням середньої температури ТпКМ у міжвалковому проміжку незалежно від виду перероблюваного матеріалу.

Дослідження процесу калібрування листового ТпКМ на валковій установці

Для визначення температури в центрі (по товщині) листового ТпКМ у нього закладався термоелектричний перетворювач. Листова заготовка, одержана або формуванням крізь екструзійну головку, або на валковій установці, нагрівалась у термошафі до температури закінчення її формування, а потім пропускала крізь міжвалковий проміжок. При цьому замірялась температура в центрі досліджуваного зразка, розпірні зусилля, а також крутні моменти, що діють на валки.

Досліджуваним матеріалом були вторинний ПЕНГ – 60% (за масою) і дубова тирса – 40% (за масою).

Під час калібрування листової заготовки в міжвалковому проміжку завдяки відповідній температурі валків здійснювалось охолодження ТпКМ у міжвалковому проміжку з одночасним твердненням її поверхневих шарів.

З табл. 3 видно, що питомі розпірні зусилля зростали із збільшенням колових швидкостей валків і зменшенням товщини вихідної заготовки (величини міжвалкового проміжку). При цьому питома потужність, що витрачається в міжвалковому проміжку, також зростала із збільшенням колових швидкостей валків і майже не змінювалась у діапазоні досліджених величин товщини вихідної заготовки. Останній факт можна пояснити тим, що за умови зменшення мінімальної товщини оброблюваного листа зменшується зона деформування ТпКМ у міжвалковому проміжку (як по ширині, так і по довжині). При цьому збільшення товщини листа приводить, з одного боку, до збільшення споживаної потужності (за рахунок збільшення довжини зони деформування), а з другого – до її зменшення (за рахунок зменшення швидкості зсуву по ширині проміжку). Також під час калібрування порівняно з процесом вальцювання (див. табл. 2) не було обертового запасу на вході в міжвалковий проміжок. Крім того, із зменшенням товщини листа зростала відносна частка товщини затверділого матеріалу.

Таблиця 3. Енергосилові параметри процесу калібрування ТпКМ на гладильному каландрі (вторинний ПЕНГ – 60% (за масою) і дубова тирса – 40% (за масою))

Міжвалковий проміжок, мм	Колова швидкість валків, м/с	Ширина ТпКМ, мм	Товщина ТпКМ, мм	Температура заднього валка, °С	Температура переднього валка, °С	Температура ТпКМ $t_{\text{вході}}$ в проміжок, °С	Питомі розпірні зусилля, кН/м	Питома потужність, Вт/м
3	0,01	160	3,30	40,0	45,0	180,0	26,7	31,0
	0,02		3,25	40,5	44,7	179,9	27,9	49,1
	0,04		3,30	41,0	44,5	180,0	30,5	74,7
	0,06		3,20	41,2	45,1	180,1	31,6	113,5
	0,08		3,15	40,7	44,8	180,1	33,5	147,0
26	0,01	170	7,20	39,9	44,5	180,0	20,2	29,8
	0,02		7,20	40,5	44,7	179,9	21,5	49,4
	0,04		7,15	40,0	44,9	180,0	23,0	73,1
	0,06		7,10	40,2	45,2	180,1	23,1	104,4
	0,08		7,10	39,7	44,8	180,1	25,7	144,5
10,1	0,01	150	11,90	40,4	45,1	179,5	10,4	31,7
	0,02		11,90	40,2	44,9	179,7	10,9	54,0
	0,04		11,85	41,1	44,5	180,1	12,6	78,1
	0,06		11,80	41,2	45,3	180,0	14,7	107,9
	0,08		11,85	40,3	44,7	179,5	15,5	150,5

Порівняння експериментальних і теоретичних даних визначення величин розпірних зусиль і потужностей, які витрачаються на процеси вальцювання і калібрування, підтверджує їх достатню збіжність (похибка не перевищує 10–15%).

Дослідження процесу охолодження відкаліброваного листового ТпКМ в охолоджувальному пристрої

Було досліджено листові зразки, одержані на валковій установці після їх калібрування, співвідношення ширини і довжини яких до їх товщини перевищувало 10, що давало можливість нехтувати перенесенням теплоти по ширині і довжині зразків та розглядати процес охолодження як одновимірний.

Експериментальні значення температури листа (склад матеріалу листа: 60% (за масою) вторинний ПЕНГ і 40% (за масою) тирси) визначались за допомогою термоелектричних пе-

ретворювачів, розміщених на глибині 0,5 мм від поверхні листа (температура T_1), а також по його центру (температура T_2).

Після виходу зразків завтовшки 6 і 10 мм з міжвалкового проміжку гладильного каландра і подальшого охолодження на відкритому повітрі температура поверхневих шарів листа спочатку збільшувалась завдяки перенесенню теплоти з його внутрішніх шарів, після чого охолодження поверхневих і внутрішніх шарів відбувалося синхронно (рис. 2, 3).

На графіках зміни температури ТпКМ в часі (див. рис. 2 і 3) є майже горизонтальна ділянка, що відповідає процесу кристалізації полімеру ТпКМ, після якої характер процесу охолодження зберігається, як і до неї.

Для інтенсифікації охолодження листових матеріалів завтовшки понад 6 мм процес можна здійснювати в умовах вимушеної конвекції, наприклад, обдуванням повітрям у пристрої тунельного типу.

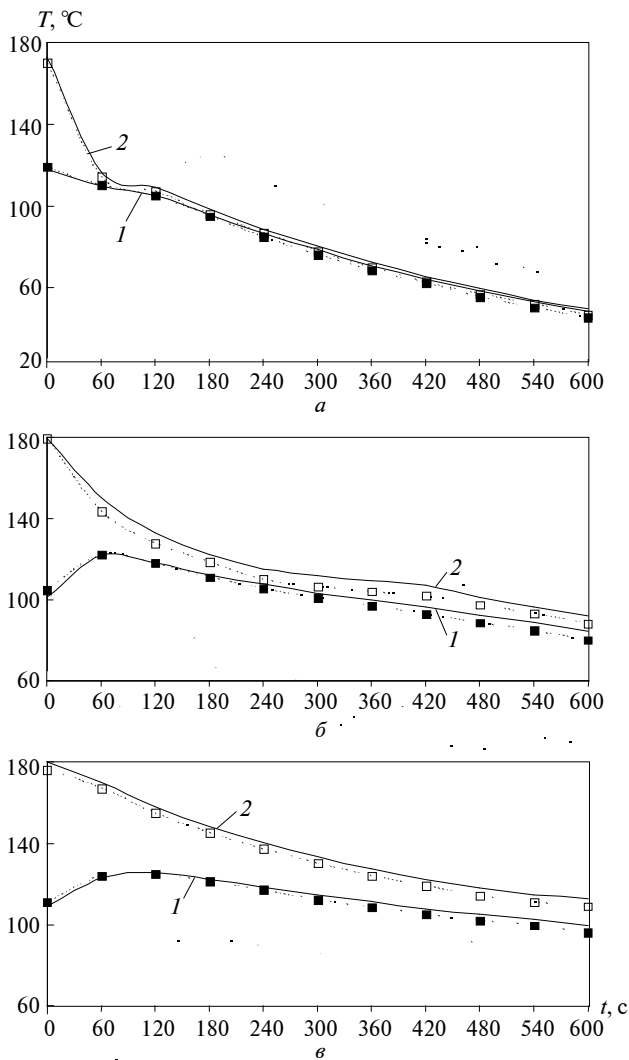


Рис. 2. Зміна температури листового ТпКМ завтовшки 3 мм (а), 6 мм (б) і 10,1 мм (е) по його товщині в часі на відкритому повітрі в умовах вільної конвекції: 1 – поверхневий шар (розрахунок); 2 – центр зразка (розрахунок); ■ – поверхневий шар (експеримент); □ – центр зразка (експеримент)

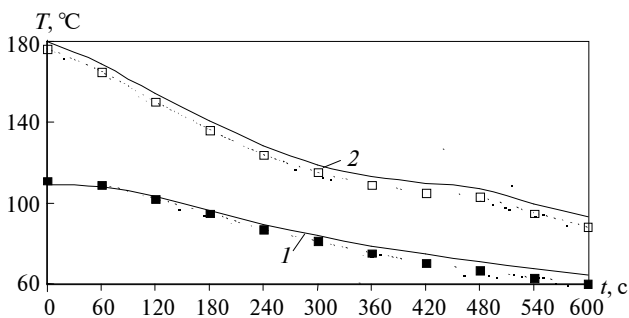


Рис. 3. Зміна температури листового ТпКМ завтовшки 10,1 мм по його товщині в часі на відкритому повітрі в умовах вимушеної конвекції: 1 – поверхневий шар (розрахунок); 2 – центр зразка (розрахунок); ■ – поверхневий шар (експеримент); □ – центр зразка (експеримент)

З рис. 2 і 3 також видно, що під час охолодження відносно товстих листів (зазвичай, більше 8–10 мм) перепад температури між внутрішніми і поверхневими шарами може перевищувати 30–40°C. Це може призвести до різних умов структуроутворення листового ТпКМ у різних його шарах і, як наслідок, до нерівномірності властивостей готового листа, зокрема до виникнення надмірних залишкових деформацій, що негативно впливає на експлуатаційні показники виробу.

Таким чином, інтенсифікація процесу охолодження товстостінних листів сприяє зменшенню часу охолодження, але може негативно вплинути на якісні показники готової продукції і бути недоцільною.

Висновки

1. Експериментальними дослідженнями процесу переробки композицій на основі поліолефінів з деревними і паперовими наповнювачами доведено можливість переробки таких композицій у листові матеріали на технологічних лініях на основі екструзійно-валкового обладнання.

2. Для визначення реологічних характеристик наповнених ТпКМ із застосуванням вторинної полімерної сировини, які істотно відрізняються від характеристик первинних полімерів, на практиці доцільно застосовувати результати дослідів, проведених безпосередньо на відповідному переробному обладнанні. Це підтверджує доцільність переробки вторинної полімерної сировини безпосередньо в місцях її утворення, коли є необхідна кількість сировини з визначеними властивостями. Можливість же ефективної переробки вторинної полімерної сировини невизначеного складу і властивостей є досить проблематичною, тому зазначену сировину можна застосовувати як добавку до полімерної сировини з певними властивостями в кількості, що істотно на них не впливає.

3. Температурний режим екструзії досліджених ТпКМ залежить від виду полімеру і ступеня його наповнення. Із збільшенням масової частки наповнювача від 30 до 60% слід збільшувати температуру розплаву на 10–30°C.

4. Під час охолодження відносно товстих листів перепад температури між внутрішніми і поверхневими шарами може перевищувати 30–40°C, що призводить до різних умов структуроутворення листового ТпКМ у різних його шарах і, як наслідок, – до нерівномірності властивостей готового листа, зокрема до виникнення

надмірних залишкових деформацій. Таким чином, інтенсифікація процесу охолодження товстих листів, з одного боку, сприяє зменшенню часу охолодження, але в той же час може негативно впливати на якісні показники готової продукції і виявитися недоцільною.

5. Порівняння експериментальних і теоретичних даних окремих процесів одержання листових матеріалів із композицій на основі поліолефінів з деревними і паперовими наповнювачами

підтверджує адекватність розроблених математичних моделей черв'ячної екструзії, вальцювання, калібрування на гладильному каландрі, а також термообробки ТпКМ із застосуванням вторинної сировини реальним процесам.

Беручи до уваги перспективність застосування виробів з композиційних матеріалів із застосуванням вторинної сировини, доцільно провести дослідження процесів одержання і переробки більш широкого спектра цих матеріалів.

П.Н. Магазий, И.О. Микулёнок, Л.И. Ружинская

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрены экспериментальные исследования процесса переработки вторичных наполненных термопластов в листовые материалы на экструзионно-валковом оборудовании. Приведены результаты измерений энергосиловых параметров процессов получения, калибрования и охлаждения листовых материалов, которые удовлетворительно согласовываются с результатами теоретических исследований. Сделаны рекомендации относительно проведения технологического процесса получения целлюлозосодержащих вторичных полиолефинов.

P.M. Magazyi, I.O. Mikulionok, L.I. Ruzhinska

THE MODELING RESEARCH OF THERMOPLASTIC MATERIALS PROCESSING USING SECONDARY RAW MATERIAL

This study provides important insights into the processing of secondary filled thermoplastic materials into sheet materials on the extrusion-roll equipment. The experimental results of the measurements of power and power force parameters of production, calibration and cooling of the sheet materials conform to the theoretical data gained. In this paper, we also give some recommendations on how to carry out the process of production of cellulose secondary polyolefines.

1. *Запропоновано нові пріоритети управління відходами // Євробюлетень : Інформ. видання Представництва Європейської Комісії в Україні. – 2008. – № 11. – С. 21.*
2. *Програма поводження з твердими побутовими відходами. Затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.2004 р., № 265 // Урядовий кур'єр. – 2004. – 24 берез. (№ 55). – С. 8–9.*
3. *Мікульонок І.О., Радченко Л.Б. Переробка вторинної сировини екструзією. – К.: ІВЦ «Видавництво “Політехніка”», 2006. – 184 с.*
4. *Мікульонок І.О. Энергосилові параметри процесу формування термопластичних композиційних матеріалів у валкових машинах // Наукові вісті НТУУ “КПІ”. – 2003. – № 5. – С. 70–76.*
5. *Мікульонок І.О., Лукач Ю.Ю., Ружинська Л.І. Энергосилові параметри процесу калібрування листів з полімерних композиційних матеріалів у гладильному каландрі // Там же. – 2003. – № 6. – С. 86–92.*
6. *Мікульонок І.О., Радченко Л.Б., Ружинська Л.І. Моделювання термообробки погонних композитних матеріалів // Там же. – 2005. – № 2. – С. 66–71.*
7. *Лукашова В.В., Мікульонок І.О., Радченко Л.Б. Черв'ячна екструзія. Узагальнена математична модель // Хімічна промисловість України. – 2007. – № 1. – С. 32–35.*
8. *Мікульонок І.О. Неперервні вироби з термопластичних композитних матеріалів. Основні принципи моделювання процесів одержання // Там же. – 2007. – № 2. – С. 36–39.*
9. *Доброногова С.И., Демчук В.А., Трохин М.И. Исследование энергосиловых параметров валковых машин тензометрическим методом // Химическое машиностроение. – К.: Техніка, 1974. – Вып. 18. – С. 52–56.*
10. *Мікульонок І.О. Полімерні композиційні матеріали. Визначення теплофізичних властивостей // Хімічна промисловість України. – 2003. – № 5. – С. 25–28.*

Рекомендована Радою інженерно-хімічного факультету НТУУ “КПІ”

Надійшла до редакції
11 листопада 2008 року