

УДК 677-19.001.5

## Закономірності течії та структуроутворення в розплавах сумішей поліпропілен–полівініловий спирт–кремнезем

Н.М. Резанова, М.В. Цебренько, І.А. Мельник, А.В. Коршун, Г.П. Данилова

Київський національний університет технологій та дизайну  
2, вул. Немировича-Данченка, Київ, 01011, Україна

*Досліджено вплив концентрації та способу введення нанорозмірного метилкремнезему на міжфазні явища в розплавах сумішей поліпропілен–пластифікований полівініловий спирт (ПП–ПВС). Показана можливість регулювання процесів структуроутворення при течії розплавів цих сумішей за рахунок зменшення величини поверхневого натягу на межі поділу фаз та підвищення термодинамічної стабільності рідких струменів полімеру дисперсної фази. Встановлено покращення процесу волокноутворення ПП у матриці ПВС. Добавки метилкремнезему підвищують здатність розплавів до поздовжньої деформації та майже не впливають на їхні реологічні властивості. Особливістю нанонаповнених композицій є низькі величини рівноважного набухання. Дія нанодобавки зумовлена її впливом на міжфазні явища в такій багатокомпонентній системі, враховуючи як розмір частинок, так і наявність метильних груп на їх поверхні. ПВС не втрачає своєї розчинності у воді при повторних екструзіях і може бути використаний для отримання ПП мікрОВОЛОКОН і тонковолокнистих матеріалів на їх основі.*

**Ключові слова :** суміші, нанодобавка, розплави, структуроутворення, в'язкість.

Створення нових матеріалів з необхідними та регульованими характеристиками за рахунок комбінації полімерних матриць з нанонаповнювачами різної хімічної природи, геометричної форми та розмірів – один із ключових напрямів розвитку сучасної науки і техніки. Давно відомо, що кремнеземи (білі сажі) забезпечують істотне покращення механічних властивостей наповнених полімерів. При цьому армуючий ефект корелює з величиною питомої поверхні ( $S_{\text{m}}$ ) кремнезему: модуль підвищується, коли  $S_{\text{m}} \geq 50 \text{ м}^2/\text{г}$ , а ступінь підсилення збільшується з ростом питомої поверхні. На сьогодні діоксид кремнію займає перше місце в загальному світовому виробництві серед нанопорошків оксидів (51 %). Широкому його застосуванню сприяють надзвичайно розвинена поверхня, високі адсорбційні, стабілізуючі та бактерицидні характеристики [1, 2]. Введення нанодобавок у розплави сумішей полімерів дає змогу не тільки поєднати властивості вихідних компонентів, а й отримати комплекс унікальних показників виробів за рахунок формування мікрогетерогенних структур, які сполучають нано-, мікро- та макрофазу. Полімери, як правило, термодинамічно несумісні між собою у розплаві, але їх розділу на окремі фази перешкоджає висока в'язкість компонентів. Зсувова течія, яка має місце при переробці, сприяє формуванню дисперсного потоку: компонент дисперсної фази утворює різні типи структур (рідкі струмені, шари, краплі тощо) в безперервній матриці. Процес структуроутворення залежить від

об'ємної концентрації полімерів, співвідношення ефективних в'язкостей і еластичностей їх розплавів, складу суміші та ступеня взаємодії компонентів на межі поділу фаз. При контакті двох полімерів відбувається часткова взаємодія сегментів макромолекул, що приводить до утворення перехідного шару, розміри якого залежать від хімічної природи компонентів. Розвинений перехідний шар значною мірою впливає на мікрореологічні процеси в розплавах сумішей полімерів, а саме: на деформацію крапель, злиття рідких струменів у напрямку течії, їх розпад на краплі, міграцію дисперсної фази по радіусу формуючого отвору. В нанонаповнених розплавах полімерів навколо наночастинки також утворюється міжфазний шар на межі поділу наповнювач/полімер, властивості якого різко відрізняються від аналогічних характеристик розплаву в об'ємі. Експериментально визначена товщина перехідного шару коливається в межах  $0,0004 \div 0,1600 \text{ нм}$  і залежить від спорідненості полімеру та частинок нанодобавки, а також від їх об'ємної концентрації [3]. Так, за вмісту добавки 15 % об. з частинками діаметром 10 нм відстань між ними становить 5 нм. У цьому випадку вся полімерна матриця в наноконкомпозиті може вести себе як перехідний шар [4]. Таким чином очевидно, що введення нанодобавок у суміш полімерів дасть змогу регулювати процеси на межі поділу фаз. Використання нанонаповнювачів з високою питомою поверхнею та достатньою сумісністю добавки і полімерів суміші –

особливо привабливе.

Мета роботи – дослідження впливу концентрації та способу введення нанодобавки на закономірності течії і процеси структуроутворення в розплавах сумішей поліпропілен–пластифікований полівініловий спирт (ПП–ПВС).

Для дослідження були використані: поліпропілен марки А-7 виробництва Лисичанського хімічного заводу, полівініловий спирт марки «Moviol 4-88» фірми «Kuraray» та суміш ПП–ПВС складу 30/70 % мас. Для переробки ПВС через розплав його пластифікували гліцерином, який вводили в кількості 7,0 % мас. Характеристики ПП і ПВС наведені в роботі [5]. Як нанодобавку вибрали пірогенний кремнезем з прищепленими до поверхні його частинок метильними групами (МК), розмір частинок 4÷7 нм; концентрація нанонаповнювача становила 0,1; 0,5 і 1,0 % мас. від маси ПП. Змішування компонентів здійснювали на черв'ячно-дисковому екструдері, в зазорі між рухомих і нерухомих дисками якого виникають інтенсивні зсувові та розтягуючі напруги, що забезпечує тонке однорідне диспергування. З метою оцінки впливу нанорозмірної добавки на процеси деформації крапель полімеру дисперсної фази в струмені були проведені дослідження мікроструктури екструдатів сумішей ПП–ПВС–МК складу 30/70/1 % мас., отриманих трьома способами. За першим – метилкремнезем попередньо диспергували в розплаві компоненту дисперсної фази (ПП), а потім отримані гранули ПП–МК змішували з матричним полімером (ПВС); за другим – нанодобавку вводили в розплав пластифікованого ПВС, а отримані гранули ПВС–МК змішували з ПП; за третім – всі три компоненти змішували в розплаві одночасно. Реологічні властивості розплавів – в'язкість ( $\eta$ ) і режим течії ( $n$ ) досліджували за допомогою капілярного мікрівіскозиметра МВ-2 за температури 190 °С в діапазоні напруг зсуву  $\tau = (0,10 \div 5,69) \cdot 10^4$  Па. Еластичність розплавів визначали за величиною рівноважного набухання екструдатів «В» [6]. Здатність розплавів до поздовжньої деформації характеризували величиною максимальної фільтрної витяжки ( $\Phi_{\max}$ ), яку визначали як співвідношення швидкостей прийому та витікання розплаву з отвору фільтри, виражену у відсотках. Характеристики процесів структуроутворення в екструдатах досліджували шляхом підрахунку під мікроскопом МБД-15 кількості всіх типів структур і визначення їхніх розмірів у залишку після екстракції матричного полімеру. Отримані дані обробляли методами математичної статистики, в результаті чого визначали середній діаметр мікріволокон ( $d$ ), дисперсію їх розподілу за діаметрами ( $\sigma^2$ ) та масову долю кожного типу структури. Для дослідження впливу добавок метилкремнезему на процеси розпаду струменів ПП у матриці ПВС робили поздовжні зрізи екструдатів сумішей, розміщували їх на нагрівальному столику мікроскопа,

підвищували температуру і фотографували різні стадії процесу розпаду. За відповідної температури струмені стають «варикозними», а потім після закінчення «часу життя» (часу розпаду) розпадаються на ланцюжок крапель. З мікрофотографій вимірювали радіуси струменів ( $R$ ) і крапель ( $r$ ), що утворилися, та відстань між їх центрами. Отримані результати обробляли за теорією Томотіки та визначали довжину хвилі руйнівного збурення, хвильове число та табульовану функцію – залежність між хвильовим числом і співвідношенням в'язкостей компонентів [7]. На основі даних кінетики розпаду мікріволокон розраховували коефіцієнт нестабільності ( $q$ ), «час життя» (розпаду) струменів ( $t_{\text{ж}}$ ), приведений час розпаду ( $t_{\text{ж}}/R$ ) і величину міжфазного натягу ( $\gamma_{\alpha\beta}$ ).

Із фундаментальних співвідношень, які описують термодинамічну рівновагу в дисперсних системах, випливає, що найбільш дієвий фактор, що дає змогу регулювати параметри фазової структури, – спорідненість компонентів. Дисперсійне середовище при течії діє на дисперговану в ньому краплю з силою  $T_{\eta}$ , яка зможе передатися краплі і деформувати її, якщо є достатня взаємодія між двома полімерами суміші в перехідному шарі. Сила  $T_{\eta}$  пропорційна градієнту швидкості зсуву  $dV_x/dy$ , в'язкості середовища ( $\mu$ ) та є функцією співвідношення в'язкостей компонентів [8]:

$$T_{\eta} = C(dV_x/dy)\mu f(\mu/\eta), \quad (1)$$

де:  $\eta$  – в'язкість полімеру дисперсної фази;  $C$  – стала величина.

Крапля полімеру дисперсної фази протидіє деформації з силою:

$$T_{\eta} = 2\gamma_{\alpha\beta}/r, \quad (2)$$

де:  $\gamma_{\alpha\beta}$  – міжфазний натяг;  $r$  – радіус краплі.

За умови рівноваги, коли  $T_{\eta} = T_{\gamma}$ , радіус краплі, а отже і струменя, визначається залежністю:

$$r = [C\gamma_{\alpha\beta}] / [(dV_x/dy)\mu f(\mu/\eta)]. \quad (3)$$

Із рівняння (3) випливає, що струмені будуть тим тонші, чим вища в'язкість матричного полімеру, більший градієнт швидкості зсуву та нижчі в'язкості дисперсної фази і поверхневий натяг.

Відомо, що рідкий струмінь (циліндр) термодинамічно нестійкий через невигідне співвідношення поверхні та об'єму і з часом розпадається на ланцюжок крапель. Тому, одним із важливих мікрореологічних процесів, що формує структуру полімерних дисперсій, є руйнування рідких струменів, утворених при течії їх розплавів. Причина розпаду циліндра – виникнення на його поверхні збурень хвильового характеру, амплітуда яких зростає експоненціально в часі [8]:

$$a = a_0 \exp(qt_{\text{ж}}), \quad (4)$$

де:  $a_0$  – початкова амплітуда збурення;  $q$  – коефіцієнт нестабільності;  $t_{\text{ж}}$  – час життя циліндра.

Струмінь стає нестабільним і розпадається на краплі за умови, коли величина амплітуди збурення стає рівною його радіусу ( $R$ ). Знання закономірностей розпаду одного полімеру в матриці іншого дає змогу

керувати процесами структуроутворення.

Експериментальні результати щодо впливу метилкремнезему на розпад рідких циліндрів поліпропілену в матриці ПВС свідчать про зменшення величини міжфазного натягу в усьому діапазоні досліджених концентрацій (табл. 1). Компатибілізуюча дія добавок аеросилу в сумішах лінійних полімерів, сформованих *in situ*, раніше була показана Ліпатовим [9]. Зміну протяжності міжфазного шару автори пов'язують з адсорбцією макромолекул компонентів суміші на наночастинках наповнювача та з утворенням нової фази. Із даних табл. 1 видно, що значення  $\gamma_{\text{оф}}$  залежать також від способу введення наночастинок у розплав суміші. Максимальне зниження  $\gamma_{\text{оф}}$  має місце, коли компоненти суміші змішуються одночасно. Це зумовлено однорідністю диспергування та розподілу наночастинок в об'ємі композиції і зменшенням долі МК, капсульованого в струменях ПП. Відомо, що можливість досягнення гомогенізації наповнювача в розплаві полімеру багаторазово ускладнюється зі зниженням розмірів його частинок, оскільки при цьому збільшуються їх кількість і питома поверхня за однакового об'ємного вмісту, зменшується відстань між частинками та зростає здатність до утворення агломератів. На закономірності розпаду струменів впливає ступінь взаємодії полімерів на межі поділу всіх фаз. Спорідненість наповнювача з одним чи обома компонентами суміші сприяє розміщенню наночастинок в об'ємі одного із компонентів або на межі поділу фаз. Авторами [10] показано, що в сумішах поліпропілен–поліамід наночастинок добавки перебувають переважно в матричному полімері. В сумішах кополімер бутадієну з акрилонітрилом/поліетилен наночастинок кремнезему (А-175) розташовані на межі поділу фаз. На ці частинки міцно адсорбовані макромолекули обох полімерів суміші, які з'єднують фази між собою та підвищують адгезію між ними. При цьому наявність кремнезему практично не впливає на дуже низьку розчинність полімерів один в одному [11]. У досліджуваних нами сумішах, отриманих одночасним змішуванням компонентів, найбільша частка метилкремнезему бере участь у формуванні міжфазного шару. Посилення взаємодії у перехідному шарі за рахунок спорідненості метильних груп на поверхні наночастинок кремнезему та макромолекулами ПП може

істотно збільшити його щільність і протяжність та зменшити величину поверхневого натягу.

Аналіз даних табл. 1 показує, що механізм розпаду рідких струменів ПП у матриці ПВС однаковий для вихідної і наноаповнених сумішей. Це впливає з того, що величини співвідношення радіусів крапель, які утворилися, та вихідного циліндра ( $r/R$ ) практично сталі величини і становлять 1,4–1,5. Добавки метилкремнезему підвищують стабільність рідкого струменя, про що свідчить збільшення  $t_{\text{ж}}$ , приведенного часу життя ( $t_{\text{ж}}/R$ ) і зменшення  $q$ . Стійкість циліндрів залежить від концентрації нанодобавки:  $t_{\text{ж}}/R$  максимальний, коли вміст МК становить 0,5 % мас. Час розпаду (час життя) рідкого струменя прямо пропорційний  $\eta$ , його  $R$  і обернено пропорційний  $\gamma_{\text{оф}}$  [12]:

$$t_{\text{ж}} = \eta R / \gamma_{\text{оф}} \quad (5)$$

Отже, за інших однакових умов, зменшення  $\gamma_{\text{оф}}$  сприяє зниженню  $R$  циліндра ПП у матриці ПВС і підвищенню його стабільності.

Мікроскопічні дослідження залишків дисперсної фази після екстракції матричного полімеру із екструдатів вихідної та модифікованих сумішей свідчать про утворення різних типів структур поліпропілену: циліндри (мікрволокна), частинки, плівки (табл. 2). Зміна концентрації нанодобавки та способу її введення дає можливість регулювати мікроструктуру екструдатів сумішей ПП–ПВС. Важливий чинник впливу метилкремнезему – зниження у 2,0–2,7 раза середнього діаметра мікрволокон, підвищення однорідності розподілу, судячи з величини ( $\sigma^2$ ) та збільшення їх загальної кількості. Як і слід було очікувати, метод введення МК також впливає на процеси структуроутворення при течії розплавів сумішей ПП–ПВС: середній діаметр і дисперсія розподілу мікрволокон мінімальні, а масова доля ПП, витрачена на їх утворення – максимальна, за умови одночасного змішування компонентів. Це зумовлено досягненням найбільш рівномірного розподілу наночастинок в об'ємі розплавів волокноутворюючого і матричного полімерів, а також зменшення долі МК, екранованого розплавом ПП у струменях. При цьому імовірність перебування добавки на межі поділу фаз ПП і ПВС значно більша, ніж при інших способах введення метилкремнезему. Покращення процесу волокноутворення пов'язане, перш за все, зі зниженням величини

Таблиця 1. Характеристики кінетики розпаду ПП мікрволокон у матриці ПВС

Спосіб змішування	Вміст МК, % мас.	$\gamma_{\text{оф}}$ , мН/м	$q$	$t_{\text{ж}}$ , с	$t_{\text{ж}}/R$ с/мкм	$r/R$
ПП+ПВС	0	0,73	0,0375	317	259	1,4
ПП–МК+ПВС	0,1	0,57	0,0225	394	374	1,4
ПП–МК+ПВС	0,5	0,36	0,0189	446	415	1,4
ПП–МК+ПВС	1,0	0,47	0,0198	390	378	1,4
ПВС–МК+ ПП	1,0	0,50	0,0205	363	301	1,5
ПП+ПВС+МК	1,0	0,17	0,0156	468	452	1,5

Таблиця 2. Характеристики мікроструктури екструдатів сумішей ПП–ПВС–МК\*

Спосіб змішування	Вміст МК, % мас.	Безперервні волокна			Типи структур, % мас.		
		$d$ , мкм	$\sigma^2$ , мкм <sup>2</sup>	% мас.	короткі, % мас.	частинки, % мас.	плівки, % мас.
ПП+ПВС	0	3,5	1,5	66,0	20,5	3,8	9,7
ПП–МК+ПВС	0,1	1,5	1,0	66,5	27,7	0,3	5,5
ПП–МК+ПВС	0,5	1,3	0,9	70,0	27,9	1,0	1,1
ПП–МК+ПВС	1,0	1,7	1,3	46,5	45,5	0,7	2,7
ПВС–МК+ПП	1,0	2,3	1,6	66,8	30,2	0,1	2,9
ПП+ПВС+МК	1,0	1,3	1,1	73,5	24,0	0,8	3,1

\*за напруги зсуву  $5,69 \cdot 10^4$  Па.

міжфазного натягу в нанонаповнених сумішах. Термодинамічно поверхневий натяг – це робота, яка необхідна для утворення одиниці площі нової поверхні шляхом розтягнення старої. Таким чином, зниження  $\gamma_\alpha$  на межі поділу фаз поліпропілен–полівініловий спирт дає змогу зменшити затрати енергії на утворення нових поверхонь дисперсної фази, тобто полегшити диспергування ПП у матриці ПВС. У той же час, вчені допускають можливість виникнення великої кількості різних типів фізичних зв'язків між частинками наповнювача та ланцюгами макромолекул завдяки формуванню перехідного шару на межі наночастинка–полімер. Десять таких зв'язків за своєю міцністю дорівнюють одному первинному хімічному зв'язку. З погляду статистики імовірність розриву всіх десяти зв'язків одночасно дуже мала, тому порівняно слабкі фізичні сили забезпечують міцну адгезію між макромолекулами полімеру та наповнювача [1, 11]. Зростання ступеня взаємодії на межі поділу ПП–ПВС сприяє передачі напруг від полімеру матриці до крапель дисперсної фази, підвищує величину їхньої поздовжньої деформації та забезпечує формування тонших ПП мікрволокон. При цьому зростання кількості коротких мікрволокон в екструдатах нанонаповнених сумішей може бути результатом розпаду тонких струменів ПП як термодинамічно більш нестійких (табл. 2).

Про вплив концентрації та способу введення метилкремнезему на макрореологічні властивості розплавів ПП–ПВС свідчать дані рисунка і табл. 3.

Результати показали, що  $\eta$  розплавів модифікованих сумішей (як і вихідної) зменшується у 2,1÷2,5 раза порівняно з  $\eta$  розплавів ПП і ПВС. Спосіб введення нанодобавки не змінює загальну закономірність різкого спаду в'язкості трикомпонентних сумішей. При цьому величини  $\eta$  нанонаповнених композицій як правило нижчі  $\eta$  бінарної суміші, що пов'язано зі зміною мікрореологічних процесів під впливом наночастинок метилкремнезему. Значний спад в'язкості характерний для розплавів сумішей, при течії яких полімер дисперсної фази утворює рідкі струмені (мікрволокна) в матричному компоненті. Це зумовлено тим, що для забезпечення течії розплаву суміші з краплями, які деформуються, потрібен менший перепад тиску (що відповідає нижчій в'язкості), ніж при течії індивідуальних полімерів [13]. Розплави, що містять 0,1–1,0 % мас. метилкремнезему, та нанонаповнені композиції, отримані різними способами, – ньютонівські рідини, як і вихідна суміш (табл. 3, рисунок).

Характерною особливістю, що має місце при витіканні розплавів полімерів та їх сумішей із формуючого отвору з будь-яким профілем, є збільшення поперечного перетину струменя і екструдату (набухання) в порівнянні з розмірами фільтри. Основна причина останнього – релаксація високоеластичних деформацій, накопичених у розплаві під час течії по каналу, і особливо у вхідній зоні. Відомо, що ці деформації не релаксують миттєво. Опосередковано їх можна оцінити за показником набухання екструдатів

Таблиця 3. Вплив концентрації та способу введення добавок метилкремнезему на реологічні властивості розплавів ПП–ПВС\*

Назва полімерів, спосіб змішування	Вміст МК, % мас.	$\eta$ , Па·с	$n$	$B$	$\Phi_{\max}$ , %
ПП	-	290	2,0	1,8	38800
ПВС	-	350	1,4	1,6	23500
ПП+ПВС	0	140	2,1	2,0	7200
ПП–МК+ПВС	0,1	130	1,8	2,0	8200
ПП–МК+ПВС	0,5	130	1,9	2,1	8300
ПП–МК+ПВС	1,0	120	2,0	2,1	8300
ПВС–МК+ПВС	1,0	170	1,8	2,1	8100
ПП+ПВС+МК	1,0	130	1,7	2,0	8300

\*за напруги зсуву  $5,69 \cdot 10^4$  Па.

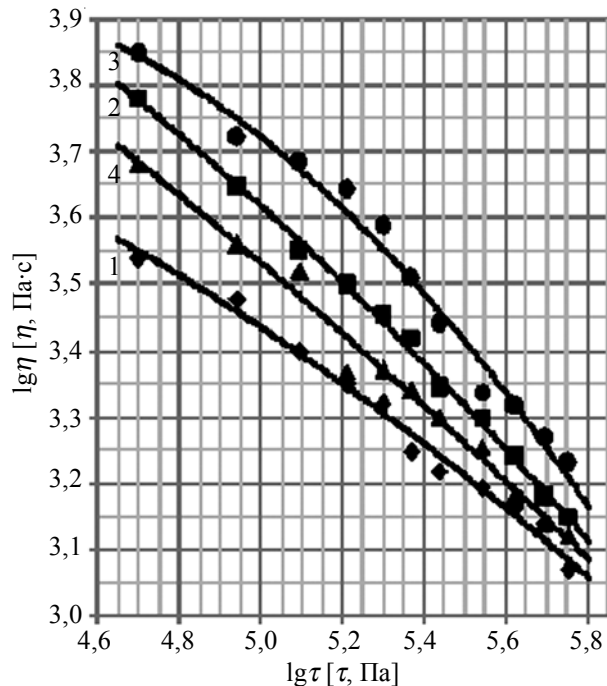


Рисунок. Залежність в'язкості розплавів від напруги зсуву суміші ПП–ПВС (1) і сумішей ПП–ПВС–МК, отриманих способами: 1 (2); 2 (3) і 3 (4)

«В», відпалених у вільному стані [6]. Рівноважні значення «В» екструдатів сумішей полімерів, для яких реалізується волокнутворення, в декілька разів вищі, ніж індивідуальних полімерів [14]. Рідкі струмені полімеру дисперсної фази накопичують значні деформації і вносять основний вклад у загальну еластичність їх розплавів. Авторами [14] показано, що для сумішей поліпропілен/кополіамід величини набухання опосередковано характеризують процес структуроутворення компонента дисперсної фази: максимальні значення «В» досягаються, коли рідкі струмені (мікріволонна) – єдиний або основний тип структури в екструдаті, а їхні діаметри мінімальні. Відмінною особливістю розплавів сумішей ПП–ПВС і ПП–ПВС–МК є дуже низькі величини рівноважного набухання, хоча для них чітко реалізується волокнутворення ПП у матриці ПВС. Це може бути пов'язано з утворенням густої сітки фізичних (водневих) зв'язків між функціональними групами компонентів суміші.

Важлива характеристика розплавів – здатність до поздовжньої деформації при переробці у волокна і плівки. Прядомість розплаву суміші ПП–ПВС різко падає в порівнянні з вихідними компонентами, судя-

чи з величини максимальної фільтрної витяжки ( $\Phi_{\max}$ ). Це зумовлено значним зменшенням в'язкості розплаву суміші, ростом його структурної неоднорідності, а також утворенням густої сітки міжмолекулярних зв'язків. Введення нанодобавки полегшує деформацію струменів розплавів у розтягуючому полі. Вміст метилкремнезему та спосіб змішування компонентів майже не впливають на здатність до переробки (табл. 3). Зростання величини  $\Phi_{\max}$  розплавів нанопоповнених сумішей є результатом зміни процесів структуроутворення ПП у матриці ПВС під дією наночастинок метилкремнезему. Відомо, що утворення анізотропних структур підвищує здатність розплаву до поздовжньої деформації [15].

Нанопоповнені суміші ПП–ПВС стабільно переробляються у волокна та плівки на традиційному екструзійному обладнанні. Добавки метилкремнезему і повторні екструзії не погіршують розчинність ПВС у холодній і гарячій воді. Це дає змогу використовувати пластифікований ПВС як матричний полімер при формуванні поліпропіленових мікріволонн і проводити процес екстракції водою.

#### Висновки.

Виконані дослідження показали можливість регулювання властивостей розплавів сумішей поліпропілен–пластифікований полівініловий спирт за рахунок зміни концентрації метилкремнезему та способу його введення в розплав. Встановлено, що нанодобавка сприяє підвищенню термодинамічної стабільності рідких струменів поліпропілену меншого діаметра за рахунок зниження величини поверхневого натягу на межі поділу фаз, коефіцієнта нестабільності та збільшення часу життя струменів. Завдяки цьому істотно покращується процес волокнутворення ПП у матриці ПВС: у 2,0–2,7 раза зменшується середній діаметр мікріволонн, майже на порядок зменшується кількість плівок, зростає однорідність розподілу мікріволонн за діаметрами. Найбільш ефективно одночасне змішування всіх трьох компонентів у розплаві на екструзійному обладнанні.

Показано, що добавки метилкремнезему позитивно впливають на реологічні властивості та здатність до деформації розплавів модифікованих композицій ПП–ПВС, що дає змогу переробляти їх у вироби на традиційному технологічному обладнанні. ПВС не втрачає своєї розчинності у воді при повторних екструзіях та може бути використаний при отриманні ПП мікріволонн і тонковолоннистих матеріалів на їх основі.

## Література

1. Менсон Д., Сперлинг Л. Полимерные смеси и композиты. – М.: Химия, 1979. – 469 с.
2. Бамбуров В.Г. Наноматериалы. Тенденции промышленного производства. // Тез. докл. VIII

Международ. конф. – Кисловодск-Ставрополь. – 2008. – С. 458.

3. Pukanszky B. // Europ. Polymer J. – 2005. – 41, N 4. – P. 645-662.

4. *Suresh G. Advani*. Processing and Properties of Nanocomposites. – Toh Tuck Link: World Scientific Publishing Co., 2007. – 548 p.
5. Резанова Н.М., Мельник І.А., Цебренко М.В., Петренко О.О., Овдійчук Г.В. // Хімічна промисловість України. – 2013. – № 2. – С. 62-67.
6. *Utracki L.A., Bakerdjiane Z., Kamal M.R.* // J. Appl. Polymer Sci. – 1975. – **19**, N 2. – P. 481-501.
7. *Tomotika S.* // Proc. Roy. Soc. (London). Part A. – 1935. – Vol. 150. – P. 322-337.
8. *Taylor G.I.* // Proc. Roy. Soc. – London. Part A. – 1934. – Vol. 146. – P. 501-526.
9. *Липатов Ю.С., Косянчук Л.Ф., Яровая Н.В.* // Докл. НАН України. – 2003. – № 2. – С. 151-155.
10. *Michler G.H., Balta-Calleja F.J.* Mechanical Properties of Polymers Based on Nanostructure and Morphology. – Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2005. – 250 p.
11. *Заикин А.Е., Галиханов М.Ф., Зверев А.В., Архиреев В.П.* // Высокомолекулярные соединения. Сер. А. – 1998. – **40**, № 5. – С. 647-652.
12. *Папков С.П.* // Хим. волокна. – 1964. – № 3. – С. 36-40.
13. *Han C.D.* Multiphase flow in polymer processing. – New York: Academic Press, 1981. – 459 p.
14. *Глубиш П.А., Ірклей В.М., Клейнер Ю.Я., Резанова Н.М., Цебренко М.В., Кернер С.М., Омельченко В.Д., Турчаненко Ю.Т.* Високотехнологічні, конкурентоспроможні екологічно орієнтовані волокнисті матеріали та вироби з них. – Київ: Арістей, 2007. – 263 с.
15. *Кулезнев В.Н.* Смеси полимеров. – Москва: Химия, 1980. – 304 с.

Надійшла до редакції 3 березня 2014 р.

## Закономерности течения и структурообразования в расплавах смесей полипропилен–поливиниловый спирт–кремнезем

*Н.М. Резанова, М.В. Цебренько, И.А. Мельник, А.В. Коршун, Г.П. Данилова*

Киевский национальный университет технологий и дизайна  
2, ул. Немировича-Данченко, Киев, 01011, Украина

*Исследовано влияние концентрации и способа введения наноразмерного метилкремнезема на межфазные явления в расплавах смесей полипропилен–пластифицированный поливиниловый спирт (ПП–ПВС). Показана возможность регулирования процессов структурообразования при течении расплавов этих смесей за счет уменьшения величины поверхностного натяжения на границе раздела фаз и повышения термодинамической стабильности жидких струй полимера дисперсной фазы. Установлено улучшение процесса волокнообразования ПП в матрице ПВС. Добавки метилкремнезема повышают способность расплавов к продольной деформации и практически не влияют на их реологические свойства. Особенностью нанонаполненных композиций являются низкие величины равновесного разбухания. Действие нанодобавки обусловлено ее влиянием на межфазные явления в данной многокомпонентной системе, учитывая как размер частиц, так и наличие метильных групп на их поверхности. ПВС не теряет своей растворимости в воде при повторных экструзиях и может быть использован для получения ПП микроволокон и тонковолокнистых материалов на их основе.*

**Ключевые слова:** смеси, нанодобавка, расплавы, структурообразование, вязкость.

## Regularity of flowing and structure-formation in polypropylene–polyvinylalcohol–silica mixture melts

*N.M. Rezanova, M.V. Tsebranko, I.A. Melnik, A.V. Korshyn, G.P. Danilova*

Kyiv national university technology and design  
2, Nemirovitha-Danchenko str., Kyiv, 01011, Ukraine

*Influence of content and method of mixing of nanosized methylsilica on interphase phenomena in polypropylene–plasticized polyvinylalcohol mixture melts (PP–PVS) has been investigated. The possibility of regulation of structure-formation processes under flowing of these mixture melts at the expense of the interphase tension decreasing and increasing of thermodynamical stability of polymer dispersed phase liquid stream has been shown/ Improving of PP fiberforming in PVS matrix has been found. The methyl silica additives increase the ability of melts to longitudinal deformation and in most cases have no influence on their rheological properties. The lower of swelling extrudates is a peculiarity of nanofilled composites. Action of nanoadditive is likely in its influence on interphase phenomena in this multicomponent system taken into account the sizes of particles and methyl groups on their surface. PVS is soluble in water after repeated extrusions and can used at obtaining of PP microfibers and thin fibrous materials on their basis.*

**Keywords:** blends, nanoadditive, melts, structure-formation, viscosity.