

Гузій Сергій Григорьевич, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Научно-исследовательский институт вяжущих веществ и материалов им. В. Д. Глуховского, Киевский национальный университет строительства и архитектуры, пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: sguziy@ukr.net

Захарченко Екатерина Дмитриевна, Киевский национальный университет строительства и архитектуры МОН Украины, пр. Воздухофлотский, 31, г. Киев, Украина, 03680
E-mail: katrina1405@ukr.net

УДК 678.743.22:746.222-139

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.54095

ВПЛИВ ПОЛІМЕР-СИЛІКАТНОГО НАПОВНЮВАЧА ТА ПОЛІСТИРОЛУ НА ПРОЦЕС ЖЕЛЮВАННЯ І ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДНИХ ПЛАСТИКАТІВ

© Ю. В. Ларук, А. С. Масюк, В. Є. Левицький

Виявлено особливості одержання і модифікування Ba,Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів. Встановлено вплив полістирольних модифікаторів (суспензійного і удароміцного полістиролу) та дрібнодисперсних Ba,Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів на процес желювання, характер кривих течії, реологічні характеристики: індекс течії і границю текучості, а також на термостабільність, поверхневу твердість і число пружності пластифікованого полівінілхлориду

Ключові слова: полівінілхлорид, полімер-силікатний наповнювач, модифікування, желювання, полістирол, полівініловий спирт, реологія

The features of obtaining and modifying Ba,Zn-containing polymer-silicate fillers have been investigated. The influence of the polystyrene modifiers (suspension and shockproof polystyrene) and finely dispersed Ba,Zn-containing polymer-silicate fillers on the process of gelation, look of flow curves, rheological properties: index of flow, flow limit, thermal stability, surface hardness and the elasticity of the plasticized poly(vinyl) chloride have been discovered

Keywords: poly(vinyl) chloride, polymer-silicate filler, modification, gelation, polystyrene, polyvinyl alcohol, rheology

1. Вступ

Використання матеріалів на основі пластифікованого полівінілхлориду (ПВХ) та різноманітних неорганічних наповнювачів обумовлено їх цінним комплексом експлуатаційних властивостей, а також великим асортиментом композицій для виробів різного призначення: у будівельній індустрії – лінолеумів, миючих шпалер, гофрованих шлангів, віконних профілів; радіотехнічній – для ізоляції кабельної продукції; в машинобудуванні – антикорозійні, ущільнюючі та ізоляційні покриття тощо. Серед великої кількості неорганічних наповнювачів перспективними вбачаються силікатні матеріали різної природи. Використовуються як природні силікатні наповнювачі (монтморилоніт, каолін, воластоніт тощо), так і синтетичні.

Широке використання виробів з ПВХ також обумовлене різноманітністю технологічних процесів для переробки пластифікованого ПВХ: каландрування, екструзія, лиття під тиском тощо [1, 2]. Усі ці методи переробки супроводжуються фізико-хімічними процесами, які насамперед, обумовлені взаємодією макромолекул ПВХ з пластифікатором та наповнювачем.

2. Постановка проблеми

Однією з основних технологічних стадій переробки пластифікованого ПВХ є стадія желювання, яка в значній мірі визначає технологічні та експлуатаційні характеристики матеріалів, технологічні параметри і умови переробки ПВХ пластикатів [3]. У зв'язку з цим, дослідженню фізико-хімічних процесів, які відбуваються під час желювання і впливають на реологічні характеристики композицій приділяється підвищена увага.

Ефективно впливати на морфологію ПВХ матеріалів і, тим самим, на їхні властивості вдається завдяки фізичному модифікуванню цих матеріалів додатками різної природи, зокрема полімерними та неорганічними. Їх введення дозволяє надавати ПВХ не тільки властивості, які притаманні окремим компонентам суміші, а й нові властивості, що, насамперед, зумовлено наявністю міжфазних областей різного типу.

Фізичне модифікування ПВХ, що базується на введенні у композицію інших полімерів, відзначається впливом багатьох фізичних та фізико-хімічних чинників, які пов'язані з різноманітністю хімічної та фізичної будови полімерів, міжфазними характеристиками систем, міжмолекулярними взаємодіями тощо.

Під час переробки полівінілхлоридних матеріалів при підвищених температурах велику увагу слід приділити підвищенню їх стійкості до термічної та термоокисної деструкції. Введення додатків неорганічної природи дозволяє не тільки усунути цей недолік ПВХ матеріалів, а й підвищити фізико-механічні та теплофізичні властивості. Сьогодні спостерігається активне використання термостабілізаторів на основі нетоксичних сумішей металовмісних сполук, зокрема, на основі Ва та Zn.

Метою даної роботи було встановлення впливу Ва-, Zn-вмісного полімер-силікатного наповнювача і полістирольного модифікатора на фізико-хімічні процеси, що мають місце під час желювання ПВХ пластикатів та на їхні реологічні і експлуатаційні властивості.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

– виявити фізико-хімічні закономірності одержання та властивості Ва-, Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів;

– дослідити вплив полімер-силікатного наповнювача та полістирольного модифікатора на процес желювання та реологічні показники ПВХ пластикатів;

– встановити вплив полімер-силікатного наповнювача та полістирольного модифікатора на теплофізичні та фізико-механічні властивості ПВХ пластикатів і композитів на їхній основі.

3. Літературний огляд

Для надання ПВХ пластикатам необхідних технологічних та експлуатаційних характеристик, поряд з іншими фізико-хімічними перетвореннями їх піддають желюванню. Під час желювання відбувається набрякання дрібнодисперсного ПВХ з постійним зниженням долі вільного пластифікатора [4]. При цьому, пластифікатор абсорбується частинками ПВХ, збільшує їх об'єм, внаслідок чого вони безпосередньо контактують між собою. З підвищенням температури процес проникнення пластифікатора прискорюється і концентрація пластифікатора вирівнюється у всьому об'ємі матеріалу. Дрібнодисперсні частинки ПВХ зберігають межі поділу, а при підвищенні температури відбувається монолітизація матриці, що супроводжується міжмолекулярними взаємодіями за участю прохідних ланцюгів або їх сегментів. Під час желювання формується фізична сітка з макромолекул ПВХ, вузли якої утворені кристалітами, які існують і при достатньо високих температурах 210–230 °C [5].

На фізико-хімічні процеси (дифузія, абсорбція, набрякання тощо), які відбуваються під час желювання ПВХ пластикатів суттєвий вплив мають температура, компонентний склад (насамперед, наявність термопластичних модифікаторів та неорганічних наповнювачів), тривалість нагріву, природа та вміст пластифікатора [6]. Повнота проходження фізико-хімічних процесів під час желювання впливає на

вибір технологічних параметрів та умов переробки пластифікованих ПВХ матеріалів, на їх реологічні та експлуатаційні характеристики.

4. Матеріали і методи досліджень реологічних і експлуатаційних властивостей полівінілхлорид-полістирольних пластикатів та композитів

Приготування дослідних зразків проводилось змішуванням ПВХ марки Lacovyl PB1156 з попередньо розчиненим полістирольним пластиком (суспензійний полістирол (ПСС) або удароміцний полістирол (УПС)) у діоктилфталаті (ДОФ) та металовмісним полімер-силікатним наповнювачом (ПСН).

Для одержання полімер-силікатного наповнювача використовували водний розчин натрієвого рідкого скла (Na-PC) з концентрацією 1 моль/л та модулем $n=2,8$ (ГОСТ 13078-81), полівініловий спирт 16/1 (ВО «Азот») і хлориди металів (Ва, Zn) марки ч.д.а. Скануючу електронну мікроскопію та елементний аналіз одержаних матеріалів проводили на роторному електронному мікроскопі РЕМ-106И.

Желювання полівінілхлоридних зразків проводилось у термошафі 2В-131 впродовж 1 год за 363 К. Реологічні дослідження проводились на ротаційному віскозиметрі Rheomat-30 в інтервалі швидкостей зсуву 50–450 с^{-1} з використанням системи коаксіальних циліндрів згідно ISO 3219. Визначення рН водного розчину продуктів деструкції ПВХ проводили згідно ISO 182-2.

5. Особливості одержання та властивості Ва, Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів

Дрібнодисперсні Ва-, Zn-вмісні полімер-силікатні наповнювачі раціонально одержувати на основі водорозчинних силікатів і полімерів під дією хлоридів відповідних металів. Це насамперед, обумовлено можливістю регулювання морфології, технологічних і експлуатаційних характеристик наповнювача, екологічності процесу та доступністю вітчизняної сировини [7].

У той же час, для підвищення технологічної сумісності наповнювача з полімерною матрицею ПВХ доцільно проводити попереднє модифікування наповнювачів, використовуючи сумісне осадження водорозчинних силікатів та функційноактивного полімеру. Таке модифікування, дозволяє одержати полімер-силікатні композити, в яких високомолекулярний модифікатор рівномірно розподілений в силікатному каркасі. Як полімерний модифікатор був використаний полівініловий спирт (ПВС).

Для одержання Ва-, Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів використовували два способи: за першим – одержували окремо Ва- та Zn-вмісний силікатний наповнювач, після чого їх сумішали в млині барабанного типу; за другим – проводили сумісне осадження водорозчинного силікату під дією суміші Ва і Zn хлоридів.

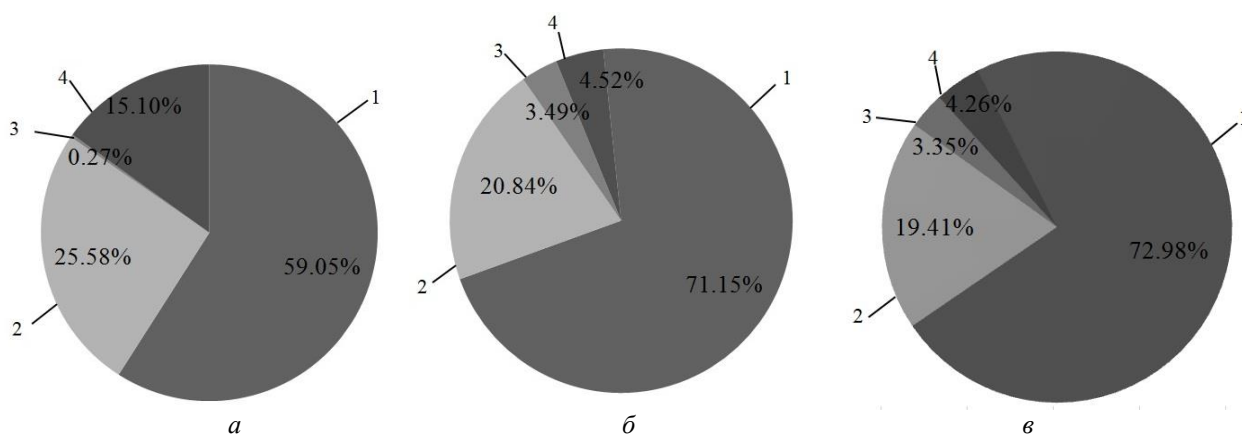


Рис. 1. Елементний склад одержаних металовмісних силікатних матеріалів, % атом: *а* – фізична суміш Ва- та Zn- силікатних наповнювачів; *б* – сумісноосаджений Ва-, Zn- силікатний наповнювач; *в* – сумісно осаджений Ва-, Zn- силікатний наповнювач, модифікований ПВС (елементи: 1 – O; 2 – Si; 3 – Ba; 4 – Zn)

Слід відзначити, що введення полімерного модифікатора в реакційне середовище підвищує ефективність осадження. На основі енергодисперсійного елементного аналізу виявлено (рис. 1), що у випадку матеріалів, одержаних фізичним змішуванням, окремі частинки характеризуються переважанням одного із металів та незначною присутністю іншого, а під час сумісного осадження метали в силікатному каркасі розміщені рівномірно.

Вплив полімерного модифікатора на елементний склад одержаних матеріалів є незначний. Зменшення вмісту кисню відносно силіцію свідчить про перехід від найпростіших острівних силікатних утворень до більш складних – ланцюгових, стрічкових, шаруватих [8], що призводить, відповідно, до зменшення кількості компенсуючих катіонів (Ba, Zn), оскільки на межі в каркасних структурах, де кожен з чотирьох атомів кисню SiO_4^- тетраедра належить одночасно двом суміжним тетраедричним структурам.

Для встановлення морфологічних особливостей полімер-силікатних композитів також були проведені дослідження з використанням скануючої електронної мікроскопії. Одержані результати наведені на рис. 2.

Як бачимо, метод сумісного осадження, порівняно з методом простого фізичного змішування,

призводить до утворення однорідніших структур. У той же час, у випадку модифікованих матеріалів частинки набувають більш правильної овальної форми та мають менші розміри. Слід відзначити, що використання полівінілового спирту призводить до утворення агломератів, які складаються з включень 50–200 нм.

На підставі сорбційних досліджень, встановлено що модифіковані силікатні наповнювачі відзначаються значно меншим значенням вологопоглинання на 15–25 %, ніж немодифіковані. При цьому, отримані силікатні наповнювачі характеризуються значними значеннями доступної активної площі поверхні відносно основно-кислотного індикатора метиленового синього – 60–75 $\text{m}^2/\text{г}$. Модифікування полівініловим спиртом призводить до деякого зменшення цих значень. Це, очевидно, може бути обумовлено блокуванням макромолекулами ПВС поверхневих груп силікатних утворень та покриття поверхні частинок гідروفобними карбоновими ланцюгами.

У даній роботі одержані Ва-, Zn-вмісні полімер-силікатні матеріали були використані як наповнювачі полівінілхлоридних пластикатів оскільки, крім термостабілізуючої дії на ПВХ вони впливатимуть на реологічні, фізико-механічні та теплофізичні властивості ПВХ матеріалів.

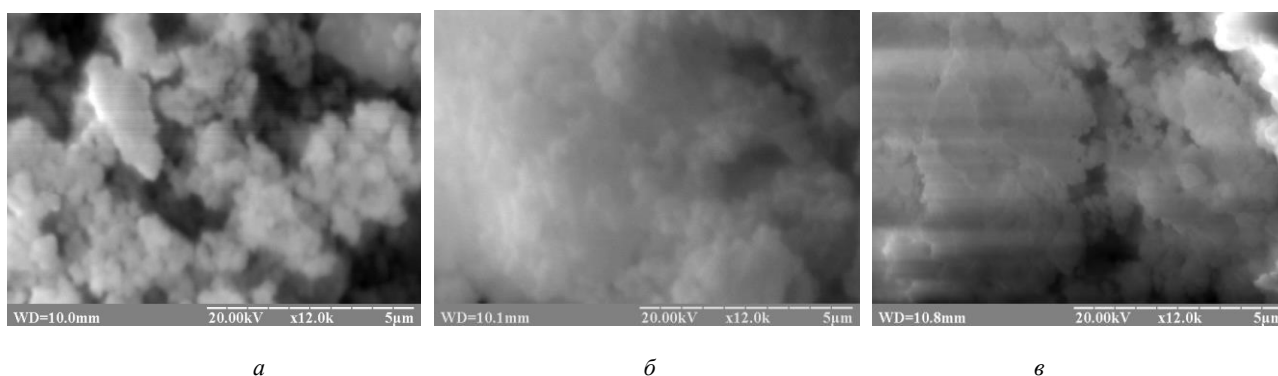


Рис. 2. СЕМ фотографії модифікованих Ва-, Zn-вмісних силікатних наповнювачів: *а* – фізична суміш Ва- та Zn-силікатних наповнювачів; *б* – сумісноосаджений Ва-, Zn-силікатний наповнювач; *в* – модифікований полівініловим спиртом сумісноосаджений Ва-, Zn-силікатний наповнювач

6. Результати досліджень реологічних показників модифікованих ПВХ пластикатів і композитів та їх обговорення

Для встановлення впливу Ва-, Zn-вмісних полімер-силікатних матеріалів, а також процесу желювання на реологічні властивості ПВХ пластикатів були проведені віскозиметричні дослідження.

Оскільки ПВХ пластикати переробляють в широкому інтервалі напружень і швидкостей зсуву, співвідношення між якими характеризує вплив на технологічні характеристики матеріалу під час переробки, були побудовані залежності у вигляді кривих течії пластифікованих ПВХ матеріалів залежно від природи полістирольного модифікатора та умов желювання, які наведені на рис. 3.

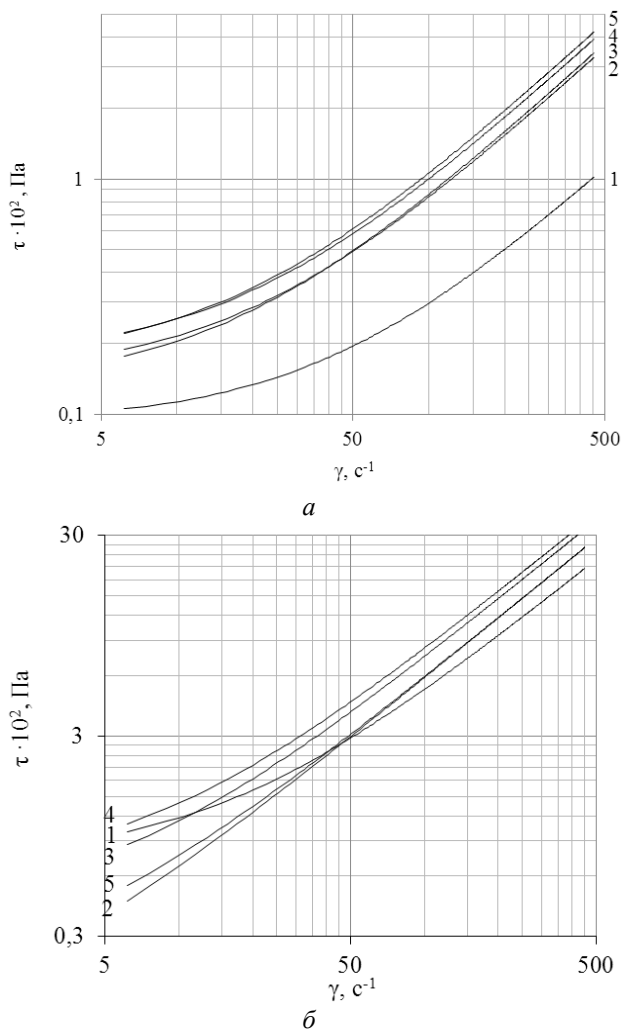


Рис. 3. Криві течії наповнених модифікованих ПВХ пластикатів: а – перед стадією желювання; б – після стадії желювання. Склад композицій: 1 – ПВХ:ДОФ=20:80; 2 – ПВХ:ПСС:ДОФ=16:4:80; 3 – ПВХ:ПСС:ДОФ:ПСН=15:4:80:1; 4 – ПВХ:УПС:ДОФ:ПСН=15:4:80:1; 5 – ПВХ:УПС:ДОФ=16:4:80

Введення полістирольних модифікаторів, незалежно від їх природи, призводить до зростання значень напруження зсуву. Після стадії желювання значення напружень зсуву закономірно зростають. Як бачимо, характер кривих течії модифікованих ма-

теріалів, які не піддавались желюванню, є подібний між собою як в не ньютонівській, так і в ньютонівській області течії. Слід відзначити, що для немодифікованих композицій, які піддавались желюванню, характер кривих течії є подібним до желюваних композицій. Для модифікованих композицій спостерігаються відчутні зміни особливо в області швидкостей зсуву до 50 c^{-1} . Це, очевидно, пов'язано з тим, що введення полістирольних модифікаторів призводить до зменшення внутрішнього тертя та зміщення початку аномалії в'язкості. Менш відчутний прояв аномалії в'язкості для желюваних модифікованих пластикатів, швидше за все, обумовлений перерозподілом міжмолекулярних взаємодій між макромолекулами ПВХ і модифікатора під час желювання та утворенням флуктуаційної сітки, у вузлах якої частина кристалітів ПВХ заміщена на сегменти макроланцюгів модифікатора.

На характер кривих течії матеріалів на основі ПВХ пластикатів, які являють собою багатокомпонентні системи, також має вплив і введення дрібнодисперсних додатків, зокрема Ва-, Zn-вмісних ПСН композитів, які в даних матеріалах відіграватимуть і роль термостабілізаторів. Характер кривих течії модифікованих ПВХ матеріалів наповнених ПСН, що були піддані желюванню, не залежить від природи полістирольного модифікатора. Після стадії желювання спостерігається зростання в'язкості наповнених модифікованих ПВХ пластикатів. Слід відзначити, що матеріали модифіковані УПС, відзначаються вищими значеннями напруження зсуву.

Відомо [9], що модель Кесона дозволяє охарактеризувати реологічний характер поведінки полімервмісної системи, який визначається наступними механізмами: розпадом просторової структури, руйнуванням дрібніших структурних елементів, орієнтацією асиметричних агрегатів. У параметрах моделі Кесона відображаються структурні властивості системи; граничне напруження зсуву пов'язано з первинним розпадом сітки просторової структури, а кесонівська в'язкість характеризує стан системи в процесі орієнтації асиметричних агрегатів.

Поряд з цим, особливості течії полімерних матеріалів характеризуються індексом течії n , який визначений з графічної залежності $\lg \tau - \lg \dot{\gamma}$. Значення границі текучості (τ_{zp}) та кесонівської в'язкості (k) визначено з графічної залежності $\tau^2 = f(\dot{\gamma}^2)$. Отримані значення n , τ_{zp} та k для модифікованих ПВХ пластикатів наведені в табл. 1.

Після стадії желювання модифіковані ПВХ композиції відзначаються зростанням значення індекса течії незалежно від природи полістирольного модифікатора. Характер течії ПВХ пластикатів модифікованих як УПС, так і ПСС, а також, які містять ПСН, відзначається індексом течії ≈ 1 , що свідчить про ньютонівський характер течії. Зростання індекса течії, очевидно, пов'язано з формуванням особливої міжмолекулярної структури між макромолекулами ПВХ та полістирольного модифікатора. У даному випадку на зміну характеру течії ПВХ композицій, очевидно, впливають ряд фізико-хімічних чинників, які обумовлені як введенням модифікаторів різної природи, так і більшою рухливістю сегментів макро-

молекул при підвищених температурах під час желювання. Під час стадії желювання внаслідок впливу температури макромолекули полістирольного модифікатора проникають у набряклі ПВХ агломерати, призводячи до морфологічних змін ПВХ.

Течія полімерних матеріалів характеризується границею текучості, яка є наслідком існування про-

сторової флукуаційної сітки, що пов'язано з ван-дер-ваальсовими, електростатичними і полярними взаємодіями між макромолекулами та іншими компонентами. Чим нижче значення границі текучості, тим менші затрати необхідні для приведення матеріалу в текучий стан та підтримки течії матеріалу на необхідному для переробки рівні.

Таблиця 1

№ з/п	Склад композиції, мас. ч.					n	τ_{sp} , Па	k, Па · с
	ПВХ	ДОФ	ПСС	УПС	ПСН			
1	20	80	–	–	–	0,61*	9,3	0,14
						0,84**	73,2	3,43
2	16	80	–	4	–	0,84	13,2	0,61
						1,00	39,5	5,83
3	15	80	–	4	1	0,87	17,1	0,76
						0,91	62,8	7,00
4	16	80	4	–	–	0,86	14,6	0,57
						0,97	42,6	6,41
5	15	80	4	–	1	0,88	16,6	0,73
						1,00	18,6	5,48

Примітка: * – перед стадією желювання; ** – після стадії желювання

Виявлено, що перед стадією желювання модифіковані ПВХ композиції характеризуються більшими значеннями границі текучості, ніж немодифікована композиція. Встановлено, що після стадії желювання всі модифіковані ПВХ композиції відзначаються зростанням границі текучості. Після стадії желювання модифіковані ПВХ композиції характеризуються меншими значеннями границі текучості порівняно з немодифікованою ПВХ композицією. Такі особливості зміни значень границі текучості модифікованих ПВХ композицій можуть бути пов'язані з впливом макромолекул полістирольного модифікатора на набрякання макромолекул ПВХ під час стадії желювання, а також заповненням об'єму, що утворився внаслідок розпаду агломератів ПВХ, сегментами макромолекул модифікатора.

Встановлені залежності зміни границі текучості ПВХ композицій модифікованих, як термопластичними полістирольними додатками, так і ПСН дозволяють прогнозувати зміни технологічних параметрів переробки пластифікованих матеріалів на основі ПВХ.

7. Результати досліджень теплофізичних та фізико-механічних властивостей модифікованих ПВХ пластиків і композитів

Введення як термостабілізаторів додатків неорганічної природи дозволяє усунути суттєвий недолік ПВХ матеріалів – їх низьку термостійкість і, як наслідок, труднощі переробки, оскільки температура переходу у в'язкотекучий стан близька до температури деструкції ПВХ. Сьогодні спостерігається заміна шкідливих свинцевовмісних термостабілізаторів на нетоксичні суміші металовмісних сполук на основі Ca/Zn, Ba/Zn та Ca/Ba/Zn [10].

На підставі потенціометричних досліджень продуктів деструкції ПВХ було встановлено вплив природи полістирольного модифікатора та ПСН на

термостабільність ПВХ пластиків. Результати потенціометричного титрування водних розчинів продуктів деструкції модифікованих полівінілхлоридних матеріалів наведені на рис. 4.

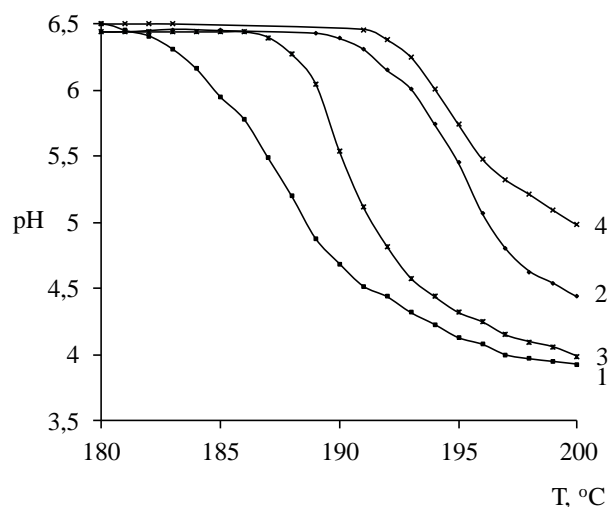


Рис. 4. Вплив полістирольного модифікатора та Ba-, Zn-вмісного ПСН на значення вивільнення HCl під час термодеструкції ПВХ. Вміст полістирольного модифікатора – 2,8 мас.ч.: 1 – відсутній; 2, 4 – ПСС; 3 – УПС; 4 – Ba, Zn-вмісний ПСН

Встановлено, що в присутності полістирольного модифікатора, як ПСС, так і УПС, сповільнюється термічна деструкція ПВХ матеріалу. Слід відзначити, що у випадку використання ПСС стійкість до термічної деструкції є вищою. Металовмісний ПСН, попередньо модифікований полівініловий спирт, суттєвіше підвищує термічну стійкість модифікованого ПВХ матеріалу, що особливо проявляється за температури вище 190 °C.

Сповільнення деструктивних процесів у модифікованих матеріалах може бути пов'язане з утво-

ренням щільнішої флукуаційної сітки за безпосередньої участі макромолекул полістирольного модифікатора і, як наслідок, запобігання виділення хлориду водню. ПВХ пластикати, в складі яких присутній Ва-, Zn-вмісний ПСН, мають найвищу термостабільність. Очевидно, це обумовлено перебігом екзотермічних процесів взаємодії продуктів деструкції ПВХ (насамперед, водню хлориду) з Ва-, Zn-вмісним ПСН, що може бути пов'язано з блокуван-

ням центрів термічної деструкції в ПВХ активними поверхневими групами силікатних утворень наповнювача, їх взаємодією з продуктами деструкції, а також меншою щільністю флукуаційної сітки внаслідок присутності ПСН та утворенням поблизу його частинок перехідних адсорбційних шарів.

Виявлено, що Ва-, Zn-вмісний ПСН також впливає на теплофізичні і фізико-механічні властивості модифікованих ПВХ пластикатів (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив Ва-, Zn-вмісного ПСН на фізико-механічні та теплофізичні властивості ПВХ пластикатів (ПВХ:ДОФ: ПСС = 100:30:2,8 мас.ч.)

№ з/п	Вміст ПСН, мас.ч.	S, %	F, МПа	T _B , °C
1	0	59,0	80,4	39
2	2	17,9	73,8	52
3	2*	80,4	108,1	49
4	10*	61,7	93,3	60

Примітка: * – ПСН модифікований полівініловим спиртом

Введення 2 % модифікованого полівініловим спиртом ПСН призводить до підвищення значення поверхневої твердості на ≈ 30 МПа та числа пружності на ≈ 20 %. У цей же час, не модифікований ПСН знижує значення поверхневої твердості та числа пружності, що очевидно, обумовлено більшою гетерофазністю системи внаслідок нижчої технологічної сумісності наповнювача та полімерної матриці. Слід зауважити, що при вмісті 10 % модифікованого Ва-, Zn-вмісного ПСН, спостерігається деяке зниження значення числа пружності та максимальне значення теплостійкості за Віка.

8. Висновки

Встановлені закономірності одержання та властивості Ва-,Zn-вмісних полімер-силікатних наповнювачів, виявлено вплив поверхнево-активного полівінілового спирту на процес одержання металовмісних силікатних наповнювачів, їх морфологію і властивості.

Встановлено вплив природи полістирольного модифікатора (удароміцний та суспензійний полістирол) на фізико-хімічні закономірності процесу желювання ПВХ пластикатів. Виявлено, що ПСС в більшій мірі, ніж УПС підвищує значення в'язкості композицій на основі пластифікованого ПВХ під час желювання, що є наслідком перерозподілу міжмолекулярних взаємодій з утворенням щільнішої флукуаційної сітки за участю різнорідних макромолекул. Виявлено, що полістирольний модифікатор та дрібнодисперсний полімер-силікатний наповнювач впливають на характер кривих течії ПВХ композицій, а також на реологічні параметри модифікованих ПВХ пластикатів.

Встановлено вплив полімер-силікатного наповнювача та полістирольного модифікатора на фізико-механічні та теплофізичні властивості ПВХ пластикатів. Додавання до композиції модифікованого полівініловим спиртом силікатного наповнювача дозволяє підвищити значення поверхневої твердості на ≈ 30 МПа, числа пружності на ≈ 20 % та теплостій-

кості за Віка, а також підвищити стійкість ПВХ композитів до термодеструкції.

Література

1. Patrick, S.G. Practical guide to Polyvinyl chloride [Text] / S.G. Patrick. – UK: Rapra technology limited, 2005. – 162 p.
2. Burgess, R. H. Manufacture of processing of PVC [Text] / R. H. Burgess. – UK: Elsevier applied science publishers ltd, 1986. – 206 p.
3. Garcia, J. Rheological study of the influence of the plasticizer concentration in the gelation and fusion processes of PVC plastisols [Text] / J. Garcia, A. Marcilla // Polymer. – 1998. – Vol. 39, Issue 15. – P. 3507–3514. doi: 10.1016/s0032-3861(97)10033-7
4. Rabinovich, E. Poly(vinyl chloride) process morphology [Text] / E. Rabinovich, J. Summers // Journal of Vinyl Technology. – 1980. – Vol. 2, Issue 3. – P. 165–168. doi: 10.1002/vnl.730020307
5. Summers, J. The nature of poly(vinyl chloride) crystallinity – the microdomain structure [Text] / J. Summers // Journal of Vinyl Technology. – 1981. – Vol. 3, Issue 2. – P. 107–110. doi: 10.1002/vnl.730030204
6. Ульянов, В. М. Поливинилхлорид [Текст] / В. М. Ульянов. – Москва: Химия, 1992. – 288 с.
7. Масюк, А. С. Закономірності одержання полімер-силікатних композитів з водорозчинних силікатів та полімерів [Текст] / А. С. Масюк, В. Є. Левицький // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – Т. 6, № 6 (72). – С. 29–33. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30870
8. Чукин, Г. Д. Химия поверхности и строение дисперсного кремнезёма [Текст] / Г. Д. Чукин. – Москва: Типография Паладин, ООО «Принта», 2008. – 172 с.
9. Климов, Д. М. Вязкопластические течения. Динамический хаос, устойчивость, перемешивание [Текст] / Д. М. Климов, А. Г. Петров, Д. В. Георгиевский. – Москва: Наука, 2005. – 394 с.
10. Reddy, J. E. Trends and challenges in liquid mixed metal stabilizers [Text] / J. E. Reddy, J. A. Hackett, J. I. Ford // Vinyltec 2002. Compounding polyvinyl chloride in the 21st century. Proceedings of a conference held Itasca, 2002. – P. 231–253.

References

1. Patrick, S. G. (2005). Practical guide to Polyvinyl chloride. UK: Rapra technology limited, 162.

2. Burgess, R. H. (1986). Manufacture of processing of PVC. UK: Elsevier applied science publishers ltd, 206.
3. Garcia, J., Marcilla, A. (1998). Rheological study of the influence of the plasticizer concentration in the gelation and fusion processes of PVC plastisols. *Polymer*, 39 (15), 3507–3514. doi: 10.1016/s0032-3861(97)10033-7
4. Rabinovitch, E. B., Summers, J. W. (1980). Poly (vinyl chloride) processing morphology. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 2 (3), 165–168. doi: 10.1002/vnl.730020307
5. Summers, J. W. (1981). The nature of poly (vinyl chloride) crystallinity – the microdomain structure. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 3 (2), 107–110. doi: 10.1002/vnl.730030204
6. Ulianov, V. M. (1992). *Polyvinilhlorid*. Moscow: Khimija, 288.
7. Masyuk, A. S., Levytskyi, V. Ye. (2014). Regularities of obtaining of polymer-silicate composites from water-soluble silicates and polymers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/6(72), 29–33. doi: 10.15587/1729-4061.2014.30870
8. Chukin, G. D. (2008). Surface chemistry and structure of the dispersed silica, 172.
9. Klimov, D. M., Petrov, A. G., Georgiivsky, D. V. (2005). Visco-plastic flow. Dynamic chaos, resistance, mixing, 394.
10. Reddy, J. E., Hackett, J. A., Ford, J. I. (2002). Trends and challenges in liquid mixed metal stabilizers. *Vinyltec 2002. Compounding polyvinyl chloride in the 21st century. Proceedings of a conference held Itasca*, 231–253.

Дата надходження рукопису 21.10.2015

Ларук Юрій Валерійович, аспірант, кафедра хімічної технології переробки пластмас, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: akerlem@gmail.com

Масюк Андрій Сергійович, аспірант, кафедра хімічної технології переробки пластмас, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: masyukas@gmail.com

Левицький Володимир Євстахович, доктор технічних наук, професор, кафедра хімічної технології переробки пластмас, Національний університет “Львівська політехніка”, вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013
E-mail: vlevytskyj@gmail.com

УДК 004.421+004.422

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.54082

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ПОИСК И АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОЙ РАЗМЕТКИ

Д. А. Морозов

Разработан и реализован высокоэффективный алгоритм обнаружения и обработки элементов дорожной разметки. Рассмотрены ключевые этапы работы алгоритма. Реализована программа, которая подтвердила высокие технические качества работы алгоритма в заданных режимах эксплуатации. Показана применимость разработки для повышения безопасности движения транспортных средств
Ключевые слова: низкоуровневая обработка изображений, распознавание образов, алгоритмы компьютерного зрения, дорожная разметка

It is developed and implemented high-efficient algorithm for searching and processing elements of road lanes. There are described the most common steps in algorithm logic. The test program, which was written specially for this algorithm, has shown high detection quality. Such program can be used for driver assistance systems

Keywords: low-level image processing, pattern identification, algorithm for computer vision, road lanes

1. Введение

В настоящее время одной из важных задач современной логистики является повышение эффективности управления транспортным средством в различных условиях [1]. Существенным этапом повышения качества управления является роботизированный компьютерный анализ элементов дорожной разметки. На данном этапе создание высокопроизводительных точных систем распознавания является крайне актуальной задачей [2].

Обработка изображения – первый шаг в работе подобных систем. В данной работе предлагается новый усовершенствованный алгоритм такой обработки. Сложность задачи состоит в выборе правильных преобразований, их последовательности, а также выбор оптимальных значений множества коэффициентов, встречающихся в этих преобразованиях [3]. Следует также отметить, что алгоритм должен работать в режиме реального времени, обладать гибкостью в настройке и определённым