УДК 678.664:678.686:546.284 doi: 10.33609/2708-129X.86.8.2020.134-143

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕПОКСИУРЕТАНОВИХ КОМПОЗИТІВ

Л. М. Ященко, Н. В. Ярова, Л. О. Воронцова, О. В. Бабіч, О. М. Горбатенко, О. О. Бровко

Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, Харківське шосе, 48, Київ, 02160, Україна

**e-mail: lara.yashchenko@gmail. com*

Епоксиуретанові композити (ЕУ) розроблено на основі поліізоціанату (ПІЦ), епоксидної смоли (ЕД-20) та силікату натрію (СН). Результати фізико-хімічних досліджень показали, що отримані ЕУ мають однорідну і жорстку структуру, а підвищення вмісту силікату натрію в їхньому складі прискорює процес термічної деструкції, проте вони стабільні до 400 °С, що зумовлено наявністю в їхній структурі гетероциклічних ізоціануратних фрагментів, які більш стійкі, ніж уретанові. Визначено механічні властивості ЕУ, такі як міцність при стисканні, модуль пружності та відносна деформація при стисканні, міцність при згинанні та водопоглинання залежно від співвідношення компонентів. Результати проведених досліджень показують, що, змінюючи співвідношення органічної і неорганічної складових в ЕУ, можна регулювати термостійкість та механічні властивості епоксиуретанових композитів відповідно до їхнього призначення.

Ключові слова: епоксиуретанові композити, густина, теплофізичні властивості, механічні характеристики, водопоглинання.

*ВСТУП. Н*ові технічні рішення в різних галузях народного господарства потребують і нових ефективних матеріалів, що мають як хороші фізико-механічні показники, так і високі тепло- і термостабільність, хімічну та гідролітичну стійкість і відповідають необхідним експлуатаційним вимогам. Проблему отримання нових полімерних матеріалів часто вирішують модифікацією перевірених часом традиційних полімерів і олігомерів, яка полягає в частковій зміні їхньої хімічної будови та надмолекулярної структури, що дозволяє забезпечити бажаний рівень експлуатаційно-технічних і економічних показників [1–6]. Така хімічна модифікація дозволяє цілеспрямовано змінювати і покращувати властивості полімерів, не вдаючись до синтезу нових.

У цьому аспекті епоксиуретанові (ЕУ) полімери привертають увагу різноманіттям можливостей взаємної модифікації епоксидів і поліуретанів – отримання сумішей і сплавів полімерів із різними функціональними групами, які містять органічні та неорганічні складові, так звані *органо-неорганічні* композити, що дозволяє покращувати властивості полімерних матеріалів. Наприклад, силікат натрію (СН) завдяки

наявності гідроксильних груп та координаційній ненасиченості атому кремнію активно реагує з органічними сполуками, зокрема поліізоціанатами.

При створенні нових композиційних матеріалів важливим є дослідження параметрів, які визначають їхню фазову структуру, термічні режими використання, стабільність і механічну міцність, тим більше, що структура й властивості органо-неорганічних композитів значною мірою залежать від співвідношення вихідних компонентів.

У попередній роботі [7] нами було досліджено взаємодію складових епоксиуретанового сполучного на основі поліізоціанату (ПІЦ), епоксидної смоли ЕД-20 та СН. Показано, що при формуванні епоксиуретанового сполучного у системі водночас відбуваються реакції отвердження епоксидної смоли внаслідок взаємодії ізоціанатних груп поліізоціанату з гідроксильними групами олігомеру, отвердження епоксидної смоли уретаном – продуктом реакції ПІЦ та СН, який здатний реагувати з епоксидними групами, та тримеризації ізоціанатних груп з утворенням ізоціануратних фрагментів.

Сукупність отриманих даних дає можливість розглядати досліджені ЕУ композиції як ефективні сполучні для виробництва композиційних матеріалів.

Отже, метою цієї роботи є вивчення фізико-хімічних та механічних характеристик епоксиуретанових композитів, які є важливими у процесі їхнього практичного застосування.

ЕКСПЕРИМЕНТ І ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.

Предметом дослідження були епоксиуретанові композиції на основі поліізоціанату марки «Lupranat M 20S IsoPMDI 92140» (суміш ізомерів дифенілметандіізоціанату та олігомерних сполук (масова частка ізоціанатних груп – 30,0 %, густина – 1,2446 г/см^3), епоксидної смоли ЕД-20 ГОСТ 10587-84 (вміст епоксидних груп 19,8 %; вміст гідроксильних груп – 1,9%; Mn = 390), водного розчину силікату натрію (силікатний модуль 2,9–3,0; відсоток вільної води – 56,0 %). Епоксиуретанова композиція містить компоненти в еквівалентному співвідношенні. Епоксиуретанові композиції готували шляхом перемішування компонентів на магнітній мішалці зі швидкістю 900 об/хв упродовж 3 хв. Готові композиції заливали у форми та отверджували за температури 20±2 °С 24 год., а потім за температури 140 °С – 1 год.

Поверхневий натяг визначали методом лежачої краплі – вимірювали крайові кути змочування епоксиуретановими композиціями тефлонових пластин із відомим поверхневим натягом, використовуючи горизонтальний мікроскоп МГ. За допомогою цифрової камери-окуляра отримували мікросвітлини 5 крапель після досягнення ними рівноважної форми, які в подальшому обробляли, застосовуючи програму для оброблення зображень «ImageJ». Значення контактних кутів змочування обчислювали, використовуючи алгоритм Drop Snake, реалізований в плагіні Drop Shape Analysis, та розраховували поверхневі натяги згідно з рівнянням [8]:

$$\sigma_р = 2\,\sigma_т/(1+\cos\Theta).$$

Для визначення густини ЕУ використовували метод гідростатичного зважування, який ґрунтується на законі Архімеда та полягає у визначенні густини твердого тіла за результатами його зважування на повітрі та

в середовищі рідини з відомою густиною [9]. Для цього використали ваги «Radwag WPS 60/18C:C/2» з вбудованою функцією автоматичного визначення густини та ізооктан як рідину з відомою густиною. Точність вимірювання на повітрі становить 0,0001 г, у середовищі ізооктану – 0,001 г.

Вплив температури на фізико-хімічні властивості отриманих епоксиуретанових композитів вивчали за допомогою методів термогравіметричного аналізу (ТГА) і диференційної сканувальної калориметрії (ДСК). Втрату ваги та температуру початку розкладу визначали на приладі «Q50 (TA Instruments», США. Зразки досліджували в температурному інтервалі від 20 до 700° С зі швидкістю нагрівання 20° С/хв в атмосфері повітря. Теплофізичні характеристики визначали методом ДСК із використанням калориметра «TA Instruments Q100» в атмосфері азоту в температурному інтервалі від -50 до 200 °С зі швидкістю нагріву 20 град/хв. Зразки масою 0,01–0,015 г поміщали в алюмінієві капсули, які потім герметично закривали. Для досліджуваних зразків використано режим сканування «нагрів – охолодження». Середина ендотермічного переходу на кривій температурної залежності теплоємності (C_p) відповідала значенню T_c полімеру.

Випробування на міцність при стисканні епоксиуретанових композитів у вигляді циліндричних зразків 15 х 15 мм (діаметр і висота відповідно) оцінювали за кімнатної температури на універсальній випробувальній машині «TIRA test 2300» згідно з ASTM D695-02 зі швидкістю кромки головки 1,3 мм / хв.

Вимірювання показників міцності на згин епоксиуретанових композитів здійснювали за ДСТУ EN 310. Для випробувань використовували зразки розміром 150 мм × 20 мм × 5 мм.

Для оцінки водопоглинання згідно ASTM D570 зразки занурювали у дистильовану воду за кімнатної температури. Через певні проміжки часу визначали ступінь насичення водою до досягнення його максимального значення упродовж трьох місяців.

Фізичні властивості епоксиуретанових композитів за різних співвідношень компонентів наведено в табл. 1. Змочувальну здатність композицій оцінювали за крайовим кутом змочування рідкими композиціями ЕУ тефлонової пластини. При збільшенні кількості СН, як видно з табл. 1, спостерігали нелінійну зміну поверхневого натягу (σ_p) ЕУ композицій, що може бути наслідком хімічних реакцій СН із більш високим значенням поверхневого натягу (67,81 мДж/м$_2$) [10].

Густина неотверднених композицій (табл. 1) збільшується зі збільшенням вмісту СН, а густина композитів зменшується за рахунок порожнин, утворених при формуванні ЕУ [7].

Результати, отримані методом ДСК, показують, що в цих системах чітких температурних переходів немає, що може вказувати на досить однорідну і жорстку структуру [11]. На рис. 1 наведено термограми епоксиуретанових композитів за різного співвідношення компонентів. Як видно з рисунка, існує відмінність між першим і другим нагріванням, що пов'язано з процесами виділення зв'язаної води та доотвердненням у зазначених системах. Це підтверджується методом ТГА (рис. 2). Найбільше зв'язаної води в зразку ЕУ-3 (рис. 1 – площа під піком), що зумовлено найбільшим вмістом СН.

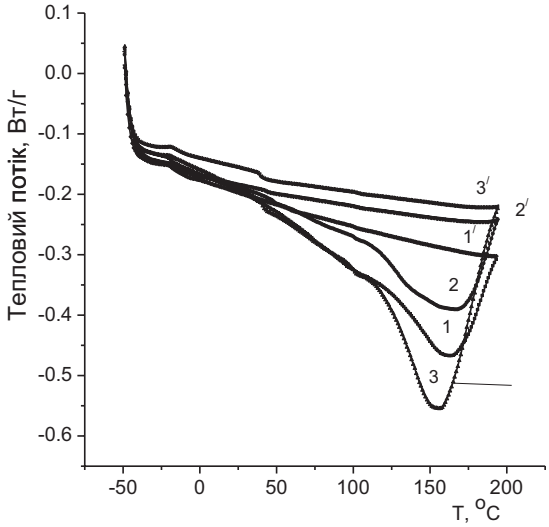

Рис. 1. ДСК криві епоксиуретанових композитів ЕУ-1, ЕУ-2, ЕУ-3: 1, 2, 3 – перше нагрівання, 1/, 2/, 3/ – друге нагрівання.

На рис. 2 наведено криві розкладання ДТГ та втрати ваги ТГ епоксиуретанів, аналіз яких показує, що термоокислювальна деструкція відбувається в три стадії. На першій стадії розкладання в інтервалі 120–200 °С спостерігаються незначні (до 3,0 %) втрати ваги, віднесені до втрати води, наявної в зразках ЕУ. Відсоток вагових втрат (1,5; 1,4; 3,04 % для зразків ЕУ-1; ЕУ-2; ЕУ-3 відповідно) збільшується з підвищенням вмісту СН (табл.1).

Також на кривих ДТГ спостерігають чітке виділення піку в інтервалі 380–410 °С, який слід віднести до розпаду ізоціануратних структур, що виникають у процесі синтезу епоксиуретанів.

Таблиця 1.

Поверхневий натяг та густина досліджуваних ЕУ композитів

Зразок	Епоксиуретанові сполучні			Густина, г/см^3		Поверхневий натяг ЕУ композицій σ_p, мДж/м^2
	Склад, мас. ч.			неотверднені	отверднені	
	ПІЦ	СН	ЕД-20			
ЕУ-1	90	10	20	1,2388	1,1583	44.25
ЕУ-2	80	20	20	1,2451	1,1539	41.5
ЕУ-3	70	30	20	1,2448	1,1528	43.49

Наявність останніх підтверджується характерними для ізоціануратних циклів смугами коливання з частотою 1712 см$^{-1}$ та одиничним піком при 1412 см$^{-1}$ у ІЧ-спектрах ЕУ [7]. На цій стадії спостерігають уповільнення розкладання епоксиуретанів (втрата ваги складає 12–14%), зумовлене, вочевидь, наявністю гетероциклічних ізоціануратних фрагментів, яким притаманна власна висока термостійкість.

На третій стадії в області температур 440–620 °С відбувається подальше окислювальне розкладання вуглецевого скелету молекули ЕУ. Причому зі збільшенням вмісту СН в епоксиуретанах максимальна швидкість T_{max} зсувається в бік зменшення температури (505, 502, 478 °С для зразків ЕУ-1, 2, 3 відповідно). Менша втрата ваги зразка ЕУ-3, порівняно зі зразками ЕУ-1, 2 (табл. 2), пов'язана зі збільшенням кількості неорганічної складової в епоксиуретані, яка зменшує теплове навантаження на органічну матрицю (67,1; 64,9; 57,8 % для зразків ЕУ-1, ЕУ-2, ЕУ-3 відповідно). Як видно з табл. 2, величина коксового залишку, яка характеризує кількість

летких продуктів згорання, збільшується залежно від кількості неорганічної компоненти в ЕУ.

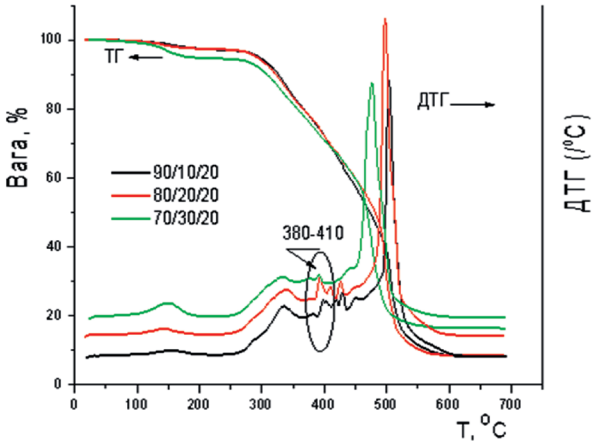

Рис. 2. Дані термогравіметричного аналізу епоксиуретанових композитів

За результатами ТГА визначено важливу експлуатаційну характеристику композитів – температуру початку деструкції, розраховану для 5% втрати маси зразка ($T_{5\%}$). Як видно (табл. 2), температура втрати 5% маси зразка зменшується з 294° С для зразка ЕУ-1 до 190° С для зразка ЕУ-3.

При збільшенні кількості СН температура початку розкладання зсувається на 20 °С в сторону нижчих температур, а максимуми швидкості розкладання складають 336, 341, 334° С для зразків ЕУ-1, ЕУ-2, ЕУ-3 відповідно.

Отже, результати проведених досліджень показують, що, змінюючи співвідношення органічної і неорганічної складових в ЕУ, можна регулювати термостійкість епоксиуретанових композитів залежно від їхнього призначення.

Таблиця 2.

Дані термогравіметричного аналізу епоксиуретанових композитів

Зразок	Стадії	Інтервал т-р, °С	Втрата ваги, %	$T_{мах}$, °С	$T_{5\%}$, °С	Коксовий залишок, %
ЕУ-1	1стадія	140–200	1,5	155	294	8,3
	2 стадія	280–450	12,6	336		
	3 стадія	480–620	67,1	505		
ЕУ-2	1стадія	120–180	1,4	147	297	8,6
	2 стадія	268–450	13,4	341		
	3 стадія	461–620	64,9	502		
ЕУ-3	1стадія	120–180	3,04	157	190	16,5
	2 стадія	260–420	14,7	334		
	3 стадія	444–610	57,8	478		

Проведено дослідження механічних властивостей (модуль пружності, міцність та відносна деформація при стисканні, міцність при згині за температури 20±2 °С) епоксиуретанових композитів залежно від варіювання вмісту органічного та неорганічного компонента при їхньому формуванні (рис. 3, 4). Зразки показали високі механічні властивості незалежно від кількості неорганічної складової. Модуль пружності, міцність та відносна деформація при стисканні перебувають у межах 1916,4–4187,6 МПа, 117,4–133,1 МПа та 24,7–30,4 % відповідно.

Зі збільшенням вмісту неорганічної складової в ЕУ значення міцності при стисканні (рис. 3 а) істотно не змінюється, проте модуль пружності, який характеризує жорсткість композиції, значно зменшується, як показано на рис. 3 б, що суперечить літературним даним.

Причина може полягати у зміні кількості СН, що впливає як на його взаємодію з ПІЦ та взаємодію між компонентами органічної складової (ПІЦ і ЕД-20), так і на швидкість реакції утворення ЕУ та повноту її завершення. Це може сприяти утворенню додаткових хімічних та фізичних зв'язків між компонентами ЕУ, що впливає на його механічні властивості.

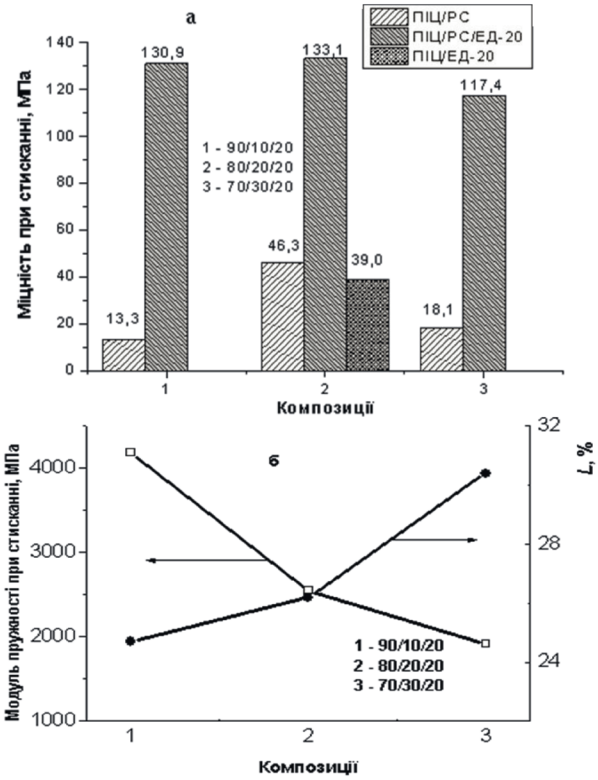

Рис. 3. Міцність при стисканні (а), модуль пружності при стисканні та відносна деформація (б) епоксиуретанів.

Для підтвердження цього проводили дослідження впливу однієї з компонент ЕУ (СН або ЕД-20) на його механічні властивості (на прикладі епоксиуретану складу ПІЦ/СН/ЕД-20=80/20/20) (рис. 3, а). Аналіз показав значне погіршення механічних властивостей модельних композитів. Проведені раніше дослідження формування епоксиуретанового композита показали [7], що ступені перетворення ізоціанатних та епоксидних груп у системі ПІЦ/СН/ЕД-20 вичерпуються значно швидше, на відміну від модельних систем ПІЦ/СН та ПІЦ/ЕД-20, що впливає на структуру композитів і, як видно з рис. 3, на їхні механічні властивості.

Дослідження епоксиуретанових композитів на міцність при згинанні (рис. 4) показали, що найвищими показниками характеризується ЕУ-2, найнижчими – ЕУ-1.

Аналіз результатів проведених досліджень з вивчення впливу кількості СН на водопоглинання ЕУ композитів показав, що вони досягають максимального ступеня насичення водою приблизно через 2 000 годин, який підвищується з підвищенням вмісту СН, що можна пояснити більш дефектною структурою ЕУ-3 порівняно з ЕУ-1, ЕУ-2. Вочевидь, ЕУ-1 характеризується більшим ступенем конверсії NCO-груп у процесі тверднення, тобто більшою завершеністю хімічних реакцій і, як результат, більшою густиною (табл. 1). Тобто зростання вмісту СН зменшує густину композитів у ряду ЕУ-1 > ЕУ-2 > ЕУ-3 = 1,1583 > 1,1539 > 1,1528 г/см^3, що, в кінцевому підсумку, призводить до підвищення здатності молекул води проникати вглиб композиту.

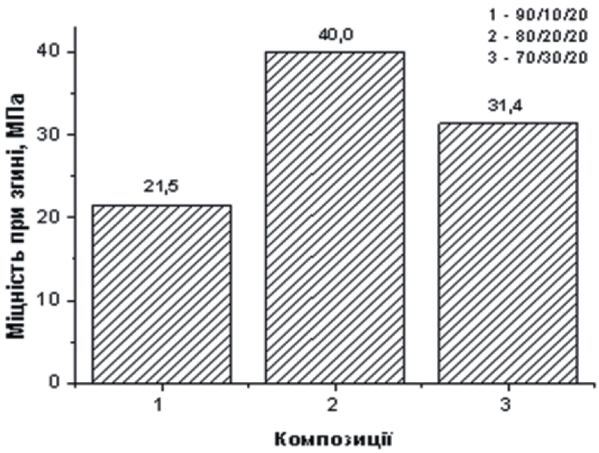

Рис. 4. Міцність при згині епоксиуретанів.

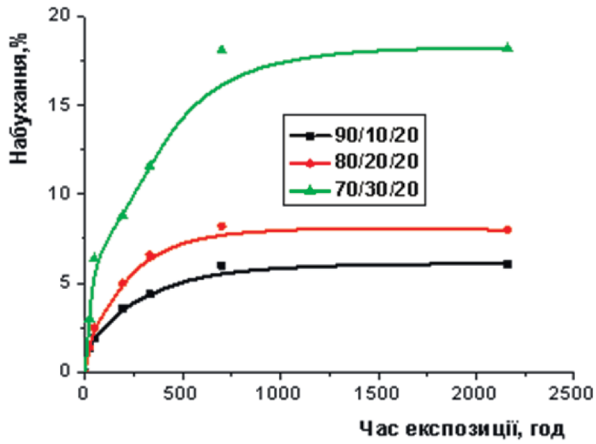

Рис. 5. Водопоглинання епоксиуретанових композитів .

ВИСНОВКИ. Таким чином, дослідження показали, що отримані епоксиуретанові композити мають однорідну і жорстку структуру, а підвищення вмісту силікату натрію в їхньому складі прискорює процес термічної деструкції, що пов'язано з особливостями структуроутворення епоксиуретанових композитів. ЕУ стабільні до 400 °С, що зумовлено наявністю в їхній структурі гетероциклічних ізоціануратних фрагментів, які більш стійкі, ніж уретанові.

При збільшенні кількості СН в ЕУ спостерігається підвищення водопоглинання, що є додатковим підтвердженням зменшення густини цих композитів.

Отже, шляхом регулювання співвідношенням органічного і неорганічного компонентів можна отримати епоксиуретанові композити з необхідними фізико-механічними показниками для практичного застосування.

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПОКСИУРЕТАНОВЫХ КОМПОЗИТОВ

Л. Н. Ященко, Н. В. Яровая, Л. А. Воронцова, О. В. Бабич, О. Н. Горбатенко, А. А. Бровко

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины, Харьковское шоссе, 48, Киев, 02160, Украина
e-mail: lara.yashchenko@gmail. com

Разработаны епоксиуретановые композиты (ЭУ) на основе полиизоцианата (ПИЦ), эпоксидной смолы (ЭД-20) и силиката натрия (СН). Результаты теплофизических исследований показали, что полученные ЭУ имеют однородную и жесткую структуру, а повышение содержания силиката натрия в их составе ускоряет процесс термической деструкции, однако они стабильны до 400 °С, что обусловлено наличием в их структуре гетероциклических изоциануратных фрагментов, которые более устойчивы, чем уретановые.

Определены механические свойства ЕУ, такие как прочность при сжатии, модуль упругости и относительная деформация при сжатии, прочность при изгибе и водопоглощение в зависимости от соотношения компонентов. Результаты проведенных исследований показывают, что, изменяя соотношение органической и неорганической составляющих в ЭУ, можно регулировать термостойкость и механические свойства эпоксиуретановых композитов в соответствии с их назначением.

Ключевые слова: эпоксиуретановые композиты, плотность, теплофизические свойства, механические характеристики, водопоглощение.

THERMOPHYSICAL AND PHYSICO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF EPOXYURETHANE COMPOSITES

L. M. Yashchenko, N. V. Iarova, L. O. Voronzova, O.V. Babich, O. M. Gorbatenko, O. O. Brovko

Institute of Macromolecular Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv Kharkivske shoce, 48, 02160 Kyiv;
e-mail:lara.yashchenko@gmail.com

Epoxy urethane composites (EU) have been developed based on polyisocyanate (PIC), epoxy resin (ED-20), and sodium silicate (SS). The results of the study of the influence of the ratio of the components of the EU on their thermophysical and physicomechanical characteristics are presented. The method of differential scanning calorimetry revealed that these systems do not have clear temperature transitions, which indicates a fairly homogeneous and rigid structure. Studies of thermal properties by the method of dynamic thermogravimetry have shown that as the amount of sodium silicate increases, the temperature of the onset of decomposition of the EU is shifted by 20 ° C towards lower temperatures.

At the same time, there is a slowdown in the decomposition of epoxy urethanes (weight loss is 12-14%), due to the presence of heterocyclic isocyanurate fragments, which is inherent in its own high thermal stability. The mechanical properties of the EU, such as compressive strength, modulus of elasticity, relative compression deformation, flexural strength, and water absorption, are determined depending on the ratio of components. High mechanical properties are shown regardless of the inorganic component amount. The modulus of elasticity, strength, and relative deformation in compression is in the range of 1916.4 - 4187.6 MPa, 117.4 - 133.1 MPa, and 24.7-30.4%, respectively. The highest flexural strengths are characterized by the EC composition of the PIC / SS / ED-20 = 80/20/20, and the lowest - the EC composition of the PIC / SS / ED-20 = 70/30/20. The results of the studies show that, by changing the ratio of organic and inorganic constituents in the EC, it is possible to regulate the thermal stability and physicomechanical properties of epoxy urethane composites depending on their purpose.

Key words: epoxy urethane composites, density, thermophysical properties, mechanical characteristics, water absorption.

ЛІТЕРАТУРА

1. Омельченко С. И., Кадурина Т. И. Модифицированные полиуретаны. – К.: Наук. думка, 1983.
2. Буй Д. М. Разработка композиционных материалов на основе эпоксиуретановых олигомеров с улучшенными эксплуатационными свойствами: дис. канд. техн. наук: 05.17.06. – М.: Российский химико-технолог. ун-тет им. Д. И. Менделеева, 2014.
3. Кадурина Т. И. Влияние температуры на синтез эпоксиуретанов // Укр. хим. журнал. – 1986. – 52, № 7. – С. 767–770.
4. Stroganov V. F., Stroganov I. V. Structualization and Properties of Nonisocianate Epoxyurethane Polymers // Polymer Science. Ser. C – 2007. – 49, № 3. – P. 257–263.
5. Осипчик В. С., Смотрова С. А., Томильчик А. Я. Исследование свойств модифицированных эпоксисодержащих олигомеров // Пластические массы. – 2011. – 2. – С. 4–7.
6. Готлиб Е. М., Аверьянова Ю. А. Свойства модифицированных эпоксидных клеев // Пластические массы. – 1998. – 4. – С. 35–36.
7. Ященко Л. М., Ярова Н. В., Самойленко Т. Ф., Бровко О. О. Синтез епоксиуретанового сполучного для біокомпозиційних матеріалів // Вопросы химии и химической технологии. – 2019. – 1. – С. 73–79.
8. Stalder A. F., Kulik G., Sage D., et al. Snake-Based Approach to Accurate Determination of Both Contact Points and Contact Angles/ Colloids And Surfaces A: Physic. And Eng. Aspects. – 2006. – 286, 1–3. – P. 92–103.
9. Юзова В. А., Семенова О. В., Харшалин П. А. Материалы и компоненты электронных средств. – СПб.: Проспект, 2015. – 103 с.
10. Лебедєв Є. В., Іщенко С. С., Будзінська В. Л., Денисенко В. В. Властивості екологічно безпечних пресованих матеріалів на основі органо-неорганічних зв›язуючих і біосировинних відходів // Вопросы химии и химической технологии. – 2007. – 6. – С. 155–159.
11. Ищенко С. С., Росовицкий В. Ф. и др. Влияние органических модификаторов на формирование органосиликатных полимерных композицій // Журнал прикладной химии. – 1998. – 11. – С. 1929–1933.
12. Nageswara A., Sudher P., Brahman V. Micro silica effects on thermal and mechanical properties of silica-epoxy composites // J. Polymer Mater. – 2010. – 27, № 1. – P. 87–95.
13. Ященко Л. Н., Тодосийчук Т. Т., Запунная К. В. и др. Термические свойства модифицированных эпоксиуретанов // Полимерный журнал. – 2007. – 29, № 4. – С. 253–258.

REFERENCES

1. Omelchenko S. I., Kadurina T. I. Modified polyurethanes. (K.: Nauk. Dumka, 1983).
2. Buoy D. M. Ph. D (Chem) (Moskov, 2014). [in Russian].
3. Kadurina T. I. The effect of temperature on the synthesis of epoxyurethanes // Ukr. chem. journ. 1986. 52(7): 767.
4. Stroganov V. F., Stroganov I. V. Structualization and Properties of Nonisocianate

Epoxyurethane Polymers // Polymer Science. Ser. C. 2007.49(3): 257.
5. Osipchik V. S., Smotrova S. A., Tomilchik A. Ya. Investigation of the properties of modified epoxy-containing oligomers // Plastics. 2011. 2: 4. [in Russian].
6. Gotlib E. M., Averyanova Yu. A. Properties of modified epoxy adhesives // Plastics. 1998. 4: 35. [in Russian].
7. Yashchenko L. M., Yarova N. V., Samoilenko T. F., Brovko O. O. Synthesis of epoxyurethane for biocomposite materials // Problems of Chemistry and Chemical Technology. – 2019. 1: 73.
8. Stalder A. F., Kulik G., Sage D., et al. Snake-Based Approach to Accurate Determination of Both Contact Points and Contact Angles/ Colloids and Surfaces A: Physic. and Eng. Aspects. 2006. 286(1–3): 92.
9. Yuzova V. A. O. V. Semenova, P. A. Kharshalin. Materials and components of electronic means.(SPb: Prospect, 2015). [in Russian].
10. Lebedev E.V., Ishchenko S. S., Budzinska V. L., Denisenko V. V. The power of environmentally friendly, unspecified materials on the basis of organo-non-organic sounding and biosynthesis // Problems of Chemistry and Chemical Technology. – 2007. 6:155.
11. Ischenko S. S., Rosovitsky V. F. et al. Influence of organic modifiers on the formation of organosilicate polymer compositions // Journal of Applied Chemistry. 1998. 11:1929. [in Russian].
12. Nageswara A., Sudher P., Brahman V. Micro silica effects on thermal and mechanical properties of silica-epoxy composites // J. Polymer Mater. 2010. 27(1): 87.
13. Yashchenko L. N., Todosiychuk T. T., Zapunnaya K. V. et al. Thermal properties of modified epoxyurethanes // Polymer Journal. 2007. 29(4): 253.

Надійшла 26.11.19