

*О.М. Григоренко, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
К.М. Карпець, к.геогр.н., науковий співробітник, НУЦЗУ*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИМОПРИГНІЧУЮЧИХ ДОБАВОК
НА ПРОЦЕСИ ТЕРМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ
НАПОВНЕНИХ ЕПОКСИПОЛІМЕРІВ**
(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

Проведений аналіз результатів дослідження термічної та термоокиснювальної деструкції азотовмісних епоксиполімерів із додаванням димопригнічуючих добавок.

Ключові слова: епоксиполімер, амофос, термодеструкція, димоутворення.

Постановка проблеми. Для керування процесами сповільнення горіння й димоутворення необхідне розуміння загальних закономірностей фізико-хімічного процесу перетворення вихідного й модифікованого полімерного матеріалу в кінцеві продукти згорання.

Однак кінетика та механізм процесу розкладання і газифікації, зокрема епоксиполімерів у присутності димопригнічуючих добавок в умовах підвищених температур у більшості випадків невстановлені [1]. Відомо, що утворення горючих газів обумовлене протіканням одночасно термічного й термоокиснювального розкладання полімерного матеріалу при горінні [2]. Тому дослідження направлені на вивчення впливу димопригнічуючих добавок на процеси перетворення в конденсованій фазі епоксиполімерів в умовах термічного й термоокиснювального впливу є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Деструкція в більшості випадків супроводжується виділенням летких продуктів, внаслідок чого відбувається зменшення маси досліджуваних полімерів. Це явище лежить в основі різних видів термогравіметричного аналізу (ТГА). В основу методу покладено визначення втрати маси полімерами в процесі їх піролізу з певною швидкістю внаслідок випаровування низькомолекулярних фрагментів ланцюга або газоподібних продуктів [3].

В роботі [4] наведено результати досліджень впливу металовмісних добавок на процеси деструкції, займистість, горючість, димоутворення і склад продуктів горіння епоксиполімерів. В роботі [5] показано і пояснено, у тому числі й за допомогою термогравіметричних методів аналізу, можливі механізми зниження димоутворення епоксиполімерів. Однак, і до тепер експериментальних даних не достатньо для розуміння впливу хіміко-мінералогічного складу наповнювачів на термостабільність епоксидних матеріалів.

Постановка завдання та його вирішення. Виявлення закономірностей протікання термічної деструкції наповнених епоксиполімерів є важливою науково-практичною задачею. Тому нами, на підставі раніше проведених досліджень [4], проведений аналіз для встановлення характеру протікання процесів деструкції наповнених амофосом і димопригнічуючими добавками епоксиполімерів.

У якості об'єктів дослідження використовували композиції на основі епоксидного олігомеру ЕД, отвердлі моноціанетилдиетилентриаміном марки УП-0633М. Для зниження горючості використовувалися мінеральні дисперсні наповнювачі, що містять азот і фосфор. В результаті отримали епоксидну композицію ЕКПГ. Як димопригнічувачі використовували (10 м.ч.) оксид міді (II), оксид цинку (II), оксид ванадію (V) та бентоніт (матеріал на основі глини з відсотковим вмістом по масі: SiO_2 –72,5; TiO_2 –0,27; Al_2O_3 –14,45; Fe_2O_3 –1,23; CuO –1,5; MgO –2,8; K_2O –0,29; Na_2O –1,55).

Термоокиснювальну деструкцію вивчали за допомогою диференційно-термічного (ДТА) і термогравіметричного (ТГ) методів аналізу в атмосфері повітря та в інертному середовищі в інтервалі температур 20 - 600°C при швидкості нагрівання 10 град/хв.

Криві термоокиснювального та термічного розкладання композицій без добавок і з добавками наведені на рис. 1-5.

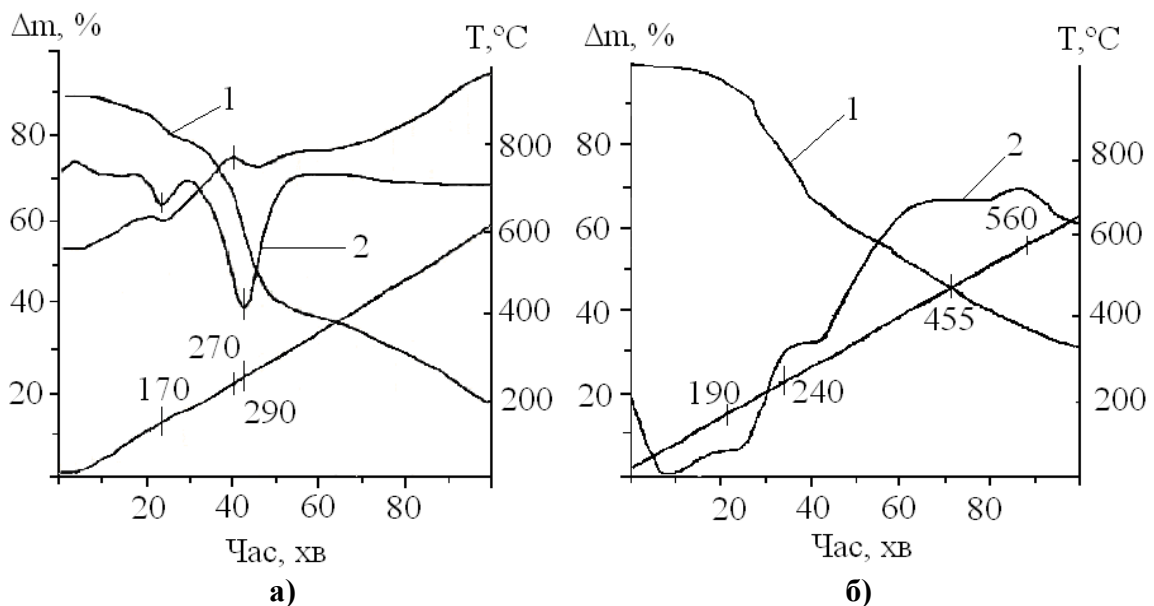


Рис. 1. Криві ТГ (1) і ДТА (2) при термічній (а) та термоокиснювальній (б) деструкції епоксиполімеру ЕКПГ без добавок

Під час дослідження визначали такі характерні температурні точки, як температура початку розкладання ($T_{\text{пр}}$), температурне положення амплітуди максимумів на кривій ДТА, швидкість розкладання ($\frac{\Delta m}{\Delta \tau}$), а також величину коксового залишку ($M_{\text{КЗ}}$).

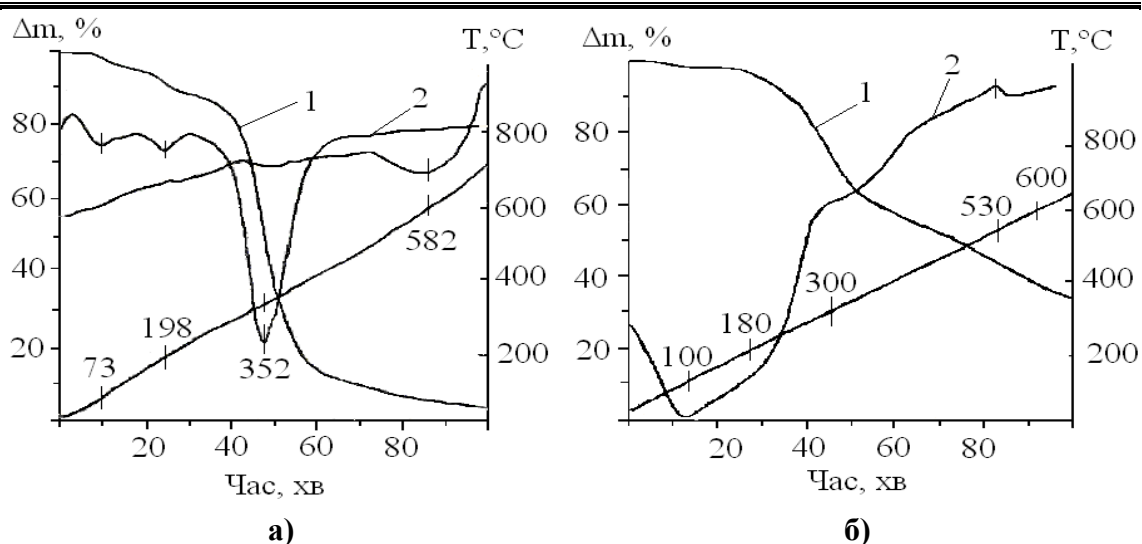


Рис. 2. Криві ТГ (1) і ДТА (2) при термічній (а) та термоокиснювальній (б) деструкції епоксиолімеру ЕКПГ з добавкою ZnO (10 мас.ч.)

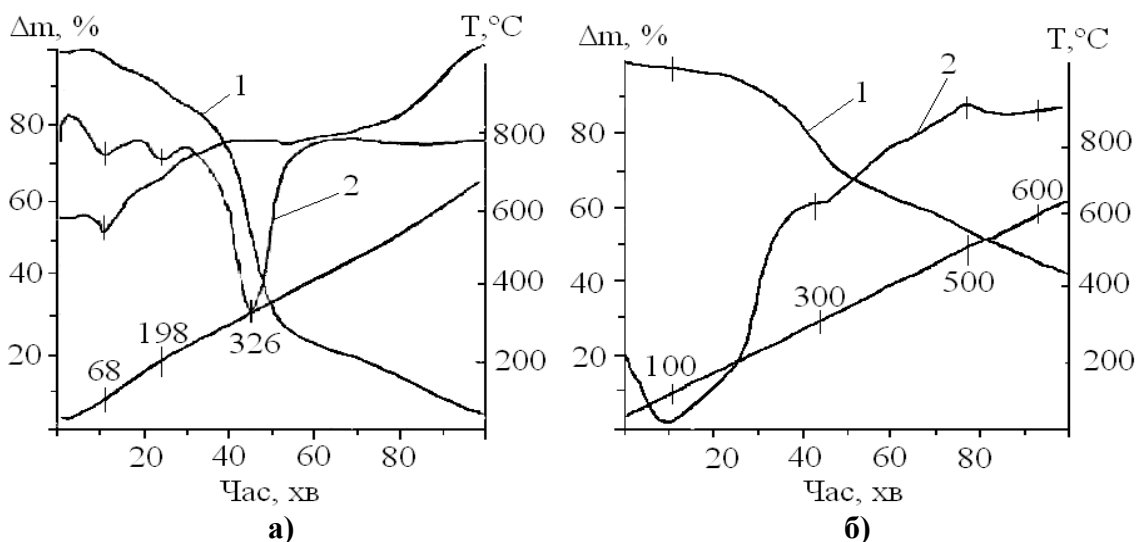


Рис. 3. Криві ТГ (1) і ДТА (2) при термічній (а) та термоокиснювальній (б) деструкції епоксиолімеру ЕКПГ з добавкою V₂O₅ (10 мас.ч.)

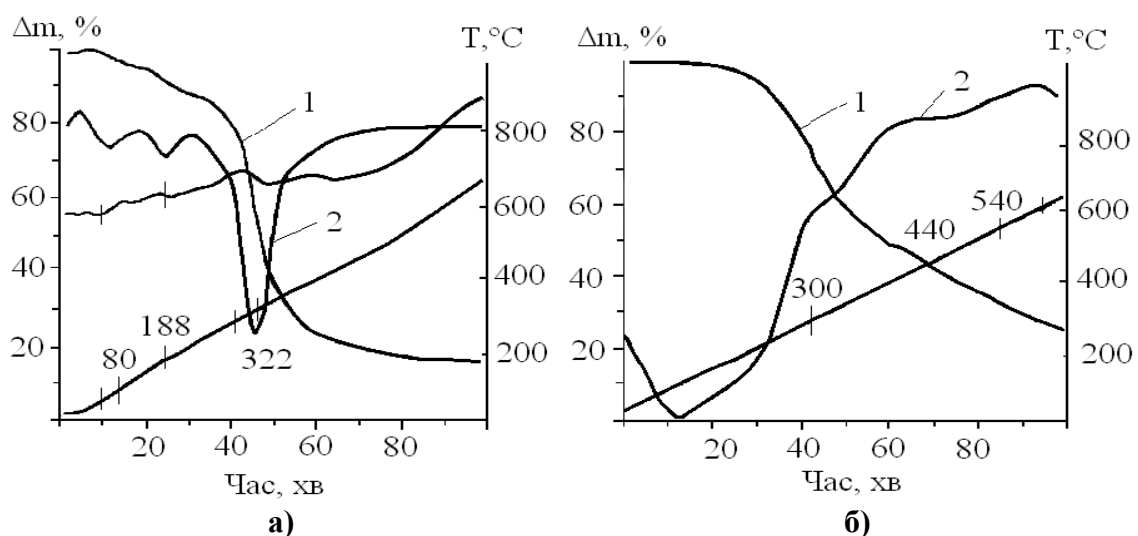


Рис. 4. Криві ТГ (1) і ДТА (2) при термічній (а) та термоокиснювальній (б) деструкції епоксиолімеру ЕКПГ з добавкою CuO (10 мас.ч.)

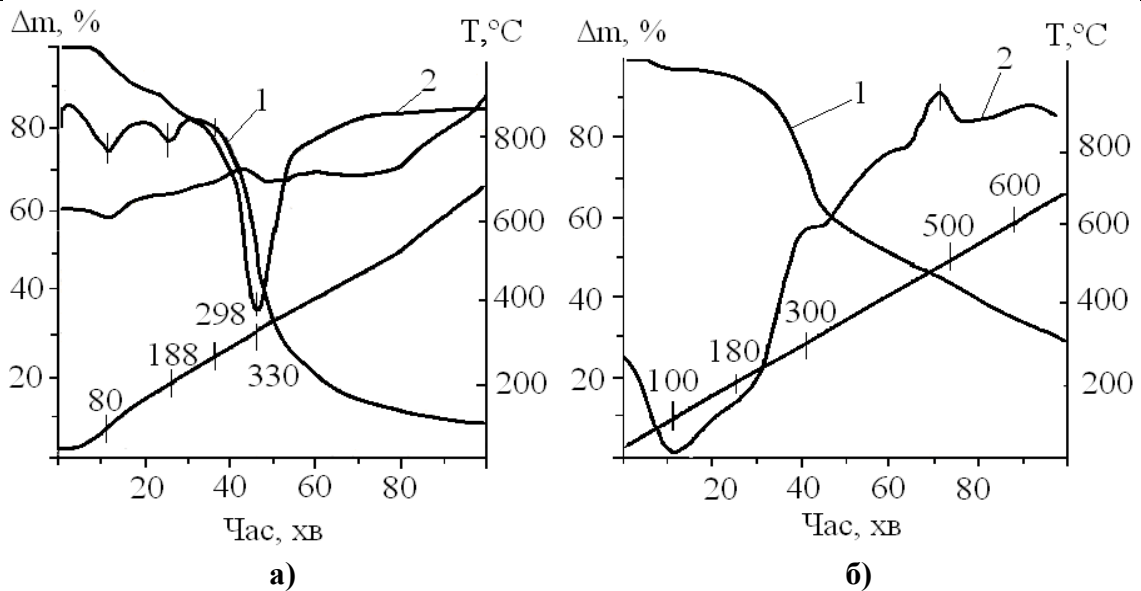


Рис. 5. Криві ТГ (1) і ДТА (2) при термічній (а) та термоокиснювальній (б) деструкції епоксиолімеру ЕКПГ з добавкою бентоніту (10 мас.ч.)

Експериментальні ТГ криві використовували для розрахунку значення ефективної енергії активації ($E_{\text{ЕФ}}$) з уточненням функції глибини розкладання й порядку реакції (n).

Температурно-масові характеристики та ефективні кінетичні параметри процесу термічної й термоокиснювальної деструкції представлені в табл. 1 та 2.

Табл. 1. Температурно-масові характеристики і ефективні кінетичні параметри процесу термічної деструкції ЕКПГ з добавками

Композиція	$T_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$	$T^1_{\text{max}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta m/\Delta t, \text{ мг}\cdot\text{хв}^{-1}$	n_1	$E^1_{\text{ЕФ}}, \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	$M_{\text{кз}}, \%$
ЕКПГ	135	290	6,1	1	40,67	27,1
ЕКПГ+CuO	140	322	11,7	1	64,06	16,6
ЕКПГ+ZnO	155	352	16,02	1	88,19	6,3
ЕКПГ+V ₂ O ₅	120	326	9,83	1	45,39	6,9
ЕКПГ+бентоніт	85	330	11,6	1	78,93	8,3

За даними досліджень дериватограм термічного розкладання вихідної епоксидної композиції в атмосфері азоту (рис. 1а) видно, що найбільша втрата маси відбувається в одну стадію в інтервалі температур 230 - 330°C з максимальною швидкістю 6,1 мг/хв. (при температурі 290°C) і супроводжується відносно невеликим спочатку екзотермічним, а потім ендотермічним ефектами.

Потім, аж до 450°C швидкість втрати маси вповільнюється, і ця стадія характеризується невеликим тепловиділенням, а починаючи з

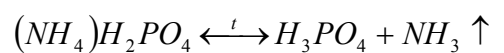
450°C знову відбувається збільшення швидкості втрати маси до 0,95 мг/хв., супроводжувана сильним екзотермічним ефектом.

Форма кривих ДТА свідчить про протікання в інтервалі температур від 200 до 600°C переважно екзотермічних процесів, які характерні для полімерів, що карбонізуються при термічній деструкції в інертному середовищі завдяки реакціям конденсації, рекомбінації й структурування продуктів розкладання в конденсованій фазі.

Табл. 2. Характерні параметри тервогравіметричної ТГ кривої ЕКПГ з добавками (деструкція в атмосфері азоту)

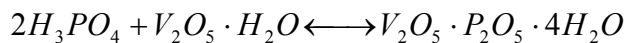
Параметри ТГ кривої	ЕКПГ + добавка (10 мас.ч.)				
	ЕКПГ	ЕКПГ +CuO	ЕКПГ +ZnO	ЕКПГ +V ₂ O ₅	ЕКПГ +бентоніт
Температура розкладання:					
τ ₀	135	140	155	120	85
τ ₁₀	185	200	215	198	132
τ ₅₀	315	325	350	312	310
Втрата маси при певній температурі:					
V ₅₇₃	54,2	71,5	63,6	56,6	63,2
V ₆₇₃	41,5	23,1	17,5	21	16,2
V ₇₇₃	35,7	18,4	8,4	14,5	10,8
V ₈₇₃	27,1	16,6	6,3	6,9	8,3

У результаті термодеструкції зразка вихідного полімеру вихід карбонізованого залишку становить 27,1 %. На початковій стадії процесу термодеструкції на кривих ДТА для всіх випробуваних зразків спостерігаються ендотермічні теплові ефекти, які пов'язані з випаровуванням води. На цій стадії втрачається приблизно 3-5 % маси. На цій стадії найбільше інтенсивно втрачають воду зразки, наповнені бентонітом (рис. 5а). Подальше підвищення температури призводить до процесу плавлення і розкладання амофосу за температури 150–190°C, що супроводжується ендотермічним піком при 170°C (рис. 1а) у відповідності зі схемою



Введення в полімер бентоніту і оксиду міді (II) призводить до зсуву піку на ДТГ кривій при розкладанні у бік більших температур на 18°C і при введенні оксиду цинку (II) і оксиду ванадію (V) на 28°C з одночасним зниженням інтенсивності піків швидкості розкладання. При цьому у випадку з оксидом міді (II), бентонітом або оксидом ванадію (V) пік ДТА кривої значно зменшується, а при додаванні оксиду цинку (II) практично згладжується. Із цього можна зробити припущення, що ендотермічні процеси розкладання амофосу компенсуються екзотермічними

реакціями взаємодії продуктів розкладання амофосу з добавками: з огляду на хімічну природу добавок, можна зробити припущення про утворення солеподібних сполук гідрофосфатів і ортофосфатів цинку і міді та про донорно-акцепторну взаємодію сильнокислотних Льюїстських центрів Al_2O_3 на поверхні бентоніту і оксиду ванадію (V) з амінами. Можливе протікання реакції за наступною схемою [6]



Подальше підвищення температури приводить до протікання процесу деструкції вихідного полімеру (рис. 1а), де в інтервалі 230 – 330°C втрачається до 40 % маси. Ця стадія проходить із максимальною швидкістю 6,1 мг/хв в межах 290°C (табл. 1). Процес характеризується невисокою ефективною енергією активації, що дорівнює 40,7 кДж/моль.

Низьке значення енергії активації процесу термодеструкції обумовлено каталітичним впливом ортофосфорної кислоти, що утвориться в результаті розкладання амофосу. Як відзначено в ряді робіт [7, 8] у присутності ортофосфорної кислоти й продуктів її перетворення, полегшуються піролітичні реакції дегідрування й дегідратації, які можуть привести до вторинних реакцій структурування.

Дійсно, форма кривих ДТА в цьому температурному інтервалі вказує на те, що до 290°C поряд з розривом зв'язків в основному ланцюзі й утворенням газоподібних продуктів (ендотермічний ефект) протікають екзотермічні реакції (з максимумом на ДТА кривій при 270°C), до яких можна віднести реакції дегідроконденсації, циклізації, рекомбінації і структурування продуктів розкладання в конденсованій фазі. Ці реакції звичайно сприяють процесам карбонізації.

Введення димопригнічуючих добавок також значно змінює хід основної стадії термодеструкції. Відбувається зсув максимуму втрати маси на ДТГ кривій (рис. 2а – 5а) на 30–60°C у область більш високих температур, при цьому зростає швидкість розкладання в точці перегибу в 1,5–2,5 рази (табл. 1). Зміни, що спостерігаються, також обумовлені кислотно-основними властивостями дисперсних наповнювачів у вихідному стані та зміною їхніх поверхневих властивостей у результаті взаємодії із продуктами розкладання компонентів матеріалу на межі розподілу фаз – їхньою взаємодією з ортофосфорною кислотою. Найбільший стабілізуючий ефект при термодеструкції спостерігається при введенні оксиду цинку. У його присутності виявлене збільшення енергії активації процесу від 40,7 кДж/моль (вихідний зразок) до 88,2 кДж/моль (табл. 1). Виявлений ефект можна пояснити здатністю оксиду цинку (II) нейтралізувати ортофосфорну кислоту з утворенням термостійкого фосфату цинку ($Zn_3(PO_4)_2$ приблизно становить 900°C). Крім цього, крива ДТА (рис. 2а) у присутності оксиду цинку (II) у ві-

дмінності від вихідного зразка має згладжений характер аж до 500°C.

Як видно з табл. 1 при введенні V_2O_5 спостерігається найменший стабілізуючий ефект, таку поведінку можна пояснити тим, що V_2O_5 хоча й відноситься до амфотерних оксидів, але має переважно кислотні поверхневі властивості [1]. Крім того, оксид ванадію (V) у присутності кислот є сильним окиснювачем; що може служити додатковим дестабілізуючим фактором при термодеструкції полімеру у відсутності кисню повітря. Про це свідчать форми ДТА (рис. 3а), де протягом майже усього процесу спостерігається переважно затяжний екзотермічний тепловий ефект.

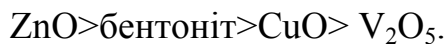
Відносно високу термостабілізуючу роль бентоніту ($E_{\text{ЕФ}}^1 = 78,9$ кДж/моль) можна віднести за рахунок того, що поверхневі кислотні центри бентоніту блоковані четвертинною амонієвою основою, і тому помітно не впливають на термодеструкцію полімеру аж до 500°C (крива ДТА, рис. 5а). Додатковим стабілізуючим фактором можуть виступити такі високоосновні домішки в бентоніті як MgO і CaO (приблизно 4 %), що здатні нейтралізувати кислі продукти розкладання епоксиполімерного композиційного матеріалу. CuO також підвищує енергію активації основного процесу термодеструкції вихідного полімеру, однак значно в меншій мірі, ніж ZnO, що скоріш за все пов'язано з невисокою термічною стійкістю фосфату міді у порівнянні з фосфатом цинку [6]. Як видно із кривих ДТГ (рис. 1а, 4а) максимум швидкості розкладання в присутності CuO зсунутий на 30° у низькотемпературну область у порівнянні зі зразком, наповненим ZnO.

За подальшого підвищення температури характер і послідовність теплових ефектів для кожного зразка мають свої особливості. І, нарешті, потужний вплив на термодеструкцію проявляють хімічні поверхневі властивості добавок.

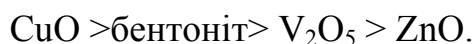
У високотемпературній області від 350 до 600°C швидкість втрати маси вповільнюється і цей процес супроводжується підвищенням тепловиділення, що свідчить про продовження реакцій структуроутворення нелетких продуктів деструкції – карбонізований залишок при 600°C становить 27 % (табл. 1).

З табл. 1 і деривотограм (рис. 2а – 5а) видно, що при введенні усіх добавок зменшується вихід карбонізованого залишку при термодеструкції і ця величина залежить від характеру та величини теплових ефектів. З підвищенням екзотермічного теплового ефекту, зростає вихід карбонізованого залишку, за винятком зразка наповненого V_2O_5 , який має високу здатність до окислення і за високих температур може брати участь в окислювально-відновних реакціях [1] з нелеткими продуктами деструкції, що приводять до зниження коксового залишку.

Таким чином, за ефективністю стабілізації епоксидної композиції зниженої горючості стосовно термічної деструкції вивчені добавки можна розташувати в наступній послідовності



Ця послідовність збігається із зменшенням основності оксидів і з нейтралізуючою здатністю кислих продуктів деструкції. Виявлено, що вихід карбонізованого залишку при термодеструкції епоксидних композицій в залежності від хімічної природи добавки збільшується в наступній послідовності



Дослідження впливу добавок на процеси термоокиснювальної деструкції епоксиполімеру в присутності кисню повітря представлений на рис. 1б – 5б і в табл. 3 та 4.

Табл. 3. Температурно-масові характеристики і ефективні кінетичні параметри процесів термоокиснювальної деструкції ЕКПГ з добавками

Композиція	$T_{пр}, ^\circ\text{C}$	$T_{max}^1, ^\circ\text{C}$	$\Delta m/\Delta \tau, \text{мг}\cdot\text{хв}^{-1}$	n_1	$E_{\text{Еф}}^1, \text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	$T_{max}^2, ^\circ\text{C}$	$\Delta m/\Delta \tau, \text{мг}\cdot\text{хв}^{-1}$	n_2	$E_{\text{Еф}}^2, \text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$	$M_{кз}, \%$
ЕКПГ	190	285	13,4	2,2	62,6	430	5,6	1	41,7	29,8
ЕКПГ +CuO	195	285	8,89	2,9	52,3	455	6,7	1	78	35,2
ЕКПГ +ZnO	190	305	7	2,2	45,9	530	3,5	1	102,1	36,4
ЕКПГ +V ₂ O ₅	190	290	8,3	3	61,8	505	4,1	1	67,95	44,8
ЕКПГ+ бентоніт	180	255	7,78	4,4	52,5	480	3,2	1	29,5	35,2

Табл. 4. Характерні параметри тервогравіметричної ТГ кривої композиції ЕКПГ із добавками при термоокиснювальній деструкції

Параметри ТГ кривої	ЕКПГ + добавка (10 мас.ч.)				
	ЕКПГ	ЕКПГ +CuO	ЕКПГ +ZnO	ЕКПГ +V ₂ O ₅	ЕКПГ +бентоніт
Температура розкладання:					
τ_0	190	195	190	190	180
τ_{10}	240	250	250	245	235
τ_{50}	455	480	530	550	435
Втрата маси при певній температурі:					
B_{573}	65,6	73,7	74,1	77,2	70
B_{673}	52,9	53,6	56,3	63,8	52,8
B_{773}	39,6	44,1	45,8	55,2	43,8
B_{873}	29,8	35,2	36,4	44,8	35,2

На відміну від термодеструкції, ТГА крива досліджуваних полімерів при термоокиснювальній деструкції має більш складний вигляд. На ТГА кривих при термоокиснювальній деструкції можна виділити дві стадії втрати маси. Перша стадія – втрати маси відбувається за температур 250-350°C і друга, менш виражена, в інтервалі 400-520°C. Втрата маси вихідного полімеру на першій стадії при термоокиснювальній деструкції відбувається у тому ж температурному інтервалі, що й при термодеструкції, але з більшою (в 2 рази) швидкістю і більшою (в 1,5 рази) енергією активації процесу (табл. 3 і табл. 4), а також з меншою (на 10 %) втратою маси зразка. Високотемпературна стадія термоокиснювальної деструкції відбувається із невисокою енергією активації (41,7 кДж/моль). Вихід твердого залишку вихідного полімеру при 600°C трохи більший, ніж при термодеструкції і становить 29,8 %.

Вплив металовмісних добавок на термоокиснювальну деструкцію також залежить від їхніх кислотно-основних властивостей, але цей вплив менш помітний, ніж при термічній деструкції. Простежимо цей вплив на швидкість втрати маси, зсув за температурною шкалою максимальну швидкість втрати маси, величину ефективної енергії активації і величину виходу твердого залишку.

У ряді ZnO, бентоніт, CuO, V₂O₅ зменшується основність оксидів і збільшується електронно-акцепторна й протодонорна здібність оксидів. Оксиди, що знаходяться на початку ряду мають основні властивості і здатні нейтралізувати каталітичний вплив ортофосфорної кислоти на процеси термоокиснювальної деструкції, про це свідчить тенденція до виродження ендотермічного піку на ДТА кривій в області 180-190°C, і відповідають розкладанню амофосу при введенні ZnO, бентоніту та CuO. Внаслідок цього знижується швидкість максимальної втрати маси на першій стадії процесу з 13,4 мг/хв для вихідного полімеру до 8,9 мг/хв (CuO), 7,8 мг/хв (бентоніт) і 7,0 мг/хв (ZnO). Як бачимо, зі збільшенням основності оксидів уповільнюється швидкість розкладання полімеру і у такій же послідовності знижується енергія активації процесу (табл. 3) термоокиснювальної деструкції. При термодеструкції аналогічних композицій як бачили раніше (табл. 1) спостерігалася термостабілізуюча залежність.

У присутності переважно кислотного V₂O₅ на ДТА кривій (рис. 3б) спостерігається зсув ендотермічного піку, який відповідає температурному інтервалу розкладання амофосу, на 40°C у високотемпературну область, що є позитивним чинником з погляду ефективності антипіренів відповідно до відомого емпіричного правила [5] про зближення температури розкладання потенційного антипірену і температури точки максимальної швидкості розкладання полімеру до 30-60°C. На відміну від основних оксидів, введення V₂O₅ практично не змінює швидкості втрати маси і енергії активації основного процесу (табл. 3.) термоокиснювальної деструкції вихідного полімеру. Ця

обставина може служити підставою для припущення про незначне розходження в рівні горючості вихідного полімеру і наповненого V_2O_5 , хоча на цій стадії в останнього помітно нижча швидкість розкладання і вихід летких продуктів (на 12%).

Високотемпературна стадія проходить у більш широкому температурному інтервалі (360-600°C) на ДТА кривій для всіх зразків спостерігаються значні екзотермічні ефекти у порівнянні з початковою стадією, які вказують на те, що тут протікають переважно окисні процеси пов'язані з вигорянням нелетких продуктів в кисні повітря, на відміну від термодеструкції, де максимальні теплові ефекти починалися при температурі 450-500°C і були пов'язані з окиснювально-відновними реакціями за участю оксидів металів, в атмосфері повітря вони починаються на 100° раніше.

Високотемпературний процес окиснювання в значній мірі визначає вогнезахисні властивості досліджених матеріалів. Як правило, чим менша величина теплового ефекту і більша величина коксового залишку, тим ефективніший матеріал. Як видно з рис. 2б – 5б, найменший тепловий ефект спостерігається у вихідного полімеру: у всьому інтервалі температур (400-600°C) екзотермічні піки згладжені і спостерігається невеликий сплеск при 550°C, при цьому максимальна швидкість втрати маси відбувається при 430°C (табл. 3). При введенні димопригнічуючих добавок спостерігається збільшення екзотермічних піків, при цьому піки максимальної швидкості втрати маси зсуваються в область більш високих температур. При цьому спостерігається така закономірність – чим більша основність оксиду, тим більший зсув T_{max}^2 у високотемпературну область, тим менша швидкість втрати маси і тим більша енергія активації процесу (за винятком бентоніту).

З табл. 3 також видно, що незважаючи на різний вплив на температурно-масові характеристики процесу в присутності основних оксидів спостерігається однаковий вихід коксового залишку, що становить 35-36% при 600°C і ця величина збільшується в порівнянні з вихідним зразком на стільки, на скільки збільшилася процентна концентрація добавки в композиції.

При введенні кислотного оксиду V_2O_5 (рис. 3б) зменшується величина теплового ефекту процесу і значно зростає коксовий залишок майже до 45%.

Висновок. З огляду на результати досліджень можна припустити, що стійкість до термічного й термоокиснювального розкладання епоксиолімерів у присутності оксидів металів залежить від їхніх кислотно-основних властивостей і пов'язана з їхньою здатністю до нейтралізації кислих продуктів розкладання. Зі збільшенням основності оксидів збільшується стійкість до термічної деструкції, підвищується швидкість розкладання й зменшується вихід карбонізованого залишку епоксиолімеру. Під час термоокиснювальної деструкції епоксиолімеру у присутності

Дослідження впливу димопригнічуючих добавок на процеси термічної деструкції наповнених епоксиолімерів

сті оксидів металів спостерігається зворотна залежність – зі збільшенням основності знижується енергія активації і швидкість розкладання. Встановлено, що при термічній деструкції епоксиполімеру з димопригнічуючими добавками максимальний вихід коксового залишку (17 %) забезпечується в присутності низькоосновного оксиду міді (II), а при термоокиснювальній деструкції – при введенні кислотного оксиду V_2O_5 (45 %).

ЛІТЕРАТУРА

1. Моделирование горения полимерных материалов / В.К. Булгаков, В.И. Кодолов, А.М. Липанов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. – М.: Знание, 1981. – 84 с.
3. Брык М.Т. Деструкция наполненных полимеров / Брык М.Т. – М.: Химия, 1989. – 192 с.
4. Яковлева Р.А. Влияние добавок на процессы термоокислительной деструкции наполненных эпоксиполимеров / Р.А. Яковлева, А.Н. Григоренко, А.М. Безуглый // Вісник КНУТД. – 2005. – Вип. 5 (25). Т.2. – С. 192-196.
5. Григоренко А.Н. Влияние металлсодержащих добавок на механизмы снижения дымообразования эпоксиполимерных композиций / А.Н. Григоренко // Проблемы пожарной безопасности. – 2012. – Вып. 31. – С. 155–159.
6. Фримантл М. Химия в действии. Ч. 2 / Фримантл М.; пер. с англ. – М.: Мир, 1998. – 620 с.
7. Мадорский С. Термическое разложение органических полимеров / Мадорский С.; пер. с англ. – М.: Мир, 1967. – 328 с.
8. Чайлдс А. Фосфоросодержащие полимеры / А. Чайлдс, Х. Котс // Химия и технология полимеров. – 1965. – №4 – С. 14.

А.Н. Григоренко, К.М. Карпец

Исследование влияния дымоподавляющих добавок на процессы термической деструкции наполненных эпоксиполимеров

Проведен анализ результатов исследования термической и термоокислительной деструкции азотсодержащих эпоксиполимеров с добавлением дымоподавляющих добавок.

Ключевые слова: эпоксиполимер, аммофос, термодеструкция, дымообразование.

O.M. Grigorenko, K.M. Karpets

Investigation of the influence of additives on smoke-suppressive filled epoxy-polymer of thermal degradation

The analysis of the results of the study of thermal and thermo-oxidative degradation of nitrogen-containing epoxy with the addition of smoke-suppressive agents.

Keywords: filled epoxy-polymer, ammonium phosphate, term destruction, smoke-generation.