

РОЗРОБКА ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ З ЧАСТКАМИ КАРБОНАТУ ЛІТІЮ І КАРБОНАТУ НІКЕЛЮ ДЛЯ РЕМОНТУ ДЕТАЛЕЙ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Букетов А.В., Нігалатій В.Д., Зінченко Д.О.

Херсонська державна морська академія

На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей епоксикомпозитів, наповнених мікродисперсними карбонатом літійу Li_2CO_3 та карбонатом нікелю $NiCO_3$, з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати розроблені матеріали. Досліджено термічний коефіцієнт лінійного розширення (α), теплостійкість (T) та термостійкість епоксикомпозитів. Встановлено абсолютні значення термічного коефіцієнту лінійного розширення матеріалів, які можливо використовувати у різних температурних діапазонах. Методом диференціально-термічного і термогравіметричного аналізу проведено дослідження термостійкості і структурних особливостей матеріалів при зростанні температури. Встановлено, що для формування композитних матеріалів з підвищеними показниками теплофізичних властивостей, доцільно використовувати як наповнювач Li_2CO_3 у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Такий матеріал характеризується найбільшою енергією активації, стійкістю до структурних перетворень при максимальних температурах та інтенсивною взаємодією функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення на молекулярному рівні серед усіх досліджуваних матеріалів.

***Ключові слова:** епоксидний композит, карбонат, теплостійкість, термостійкість, деструкція, екзоэффект.*

Постановка проблеми. Розвиток сучасною виробництва ставить підвищені вимоги до захисту і ремонту енергетичних установок, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ, знакозмінних температур і динамічних навантажень [1–4]. Перспективними є композитні матеріали (КМ) і захисні покриття з епоксикомпозитів, які суттєво поліпшують фізико-механічні, теплофізичні, антикорозійні властивості машин і механізмів, а також значно поліпшують їхню зносостійкість під впливом знакозмінних динамічних навантажень.

Такі матеріали визначаються підвищеною технологічністю при нанесенні на габаритні деталі складного профілю, а також мають високі показники експлуатаційних характеристик і розвинуту сировинну базу у межах України [5]. Водночас слід зазначити, що проблема підвищення експлуатаційних характеристик епоксидних композитів не втрачає своєї актуальності, оскільки такі КМ широко застосовують у різних галузях промисловості, зокрема, і у транспорті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз публікацій у напрямку дослідження властивостей епоксидних КМ вказує на необхідність введення у зв'язувач модифікаторів та наповнювачів для отримання матеріалів з підвищеними експлуатаційними характеристиками. Введення у зв'язувач дисперсних часток, навіть за незначної кількості забезпечує зміну швидкості перебігу фізико-хімічних процесів при структуроутворенні КМ [6-8]. Причому важливе значення при регулюванні процесів зшивання КМ має не лише хімічна та фізична природа, але й вміст та дисперсність часток. Враховуючи це вважали за доцільне проведення відповідних досліджень зі встановлення впливу дисперсних карбонатних наповнювачів на теплофізичні властивості епоксидних КМ.

Мета роботи – на основі залежності властивостей матеріалів від кількості наповнювачів встановити критичний вміст мікродисперсних часток у зв'язувачі для формування покриттів з покращеними теплофізичними характеристиками.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84).

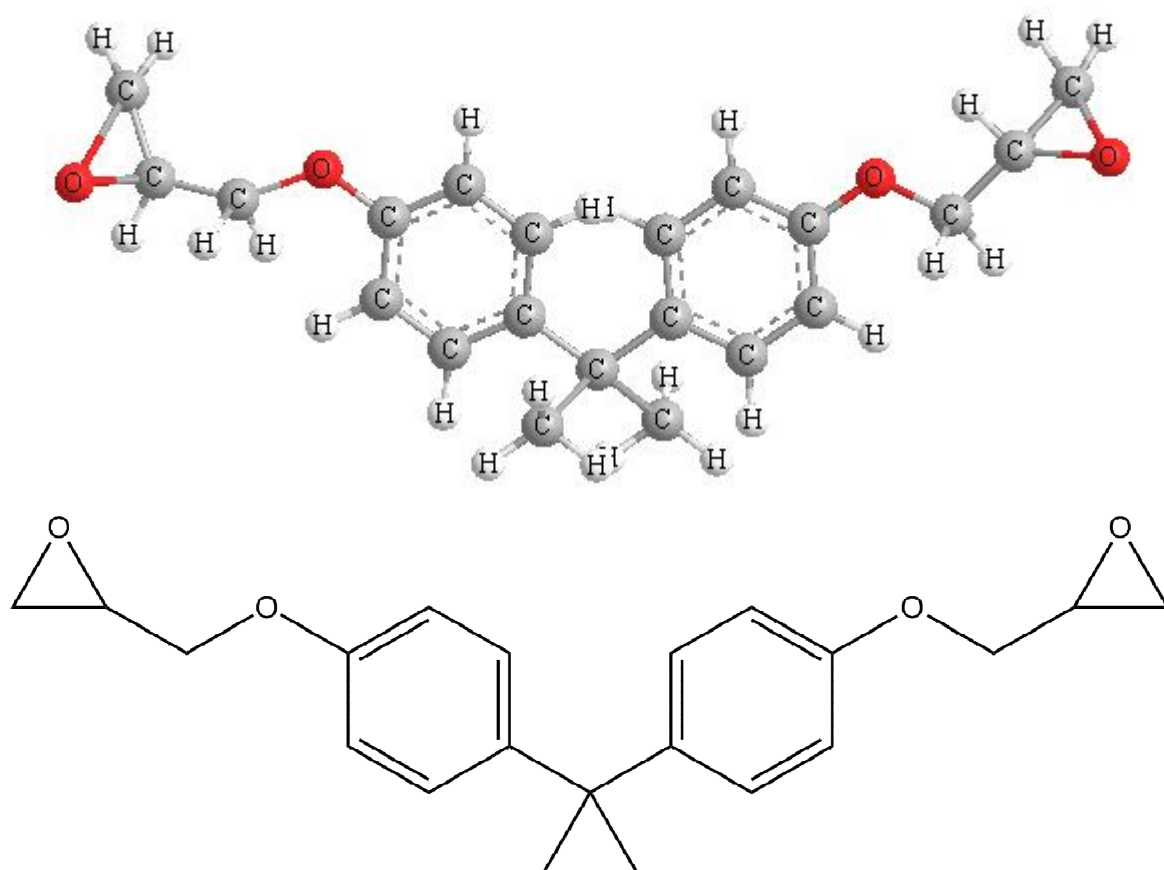


Рисунок 1 – Структурна формула ЕД-20

Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Зшивали КМ, вводячи твердник у композицію при стехіометричному співвідношенні компонентів за вмісту (мас.ч.) – ЕД-20 : ПЕПА – 100 : 10.

Як наповнювачі було використано частки карбонату літію (КЛ) (рис. 2) і карбонату нікелю (КН) (рис. 3) з дисперсністю 8...10 мкм.

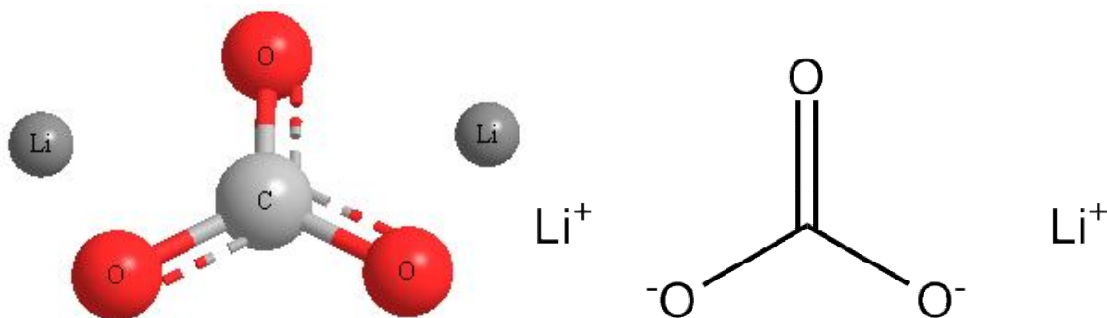


Рисунок 2 – Структурна формула КЛ

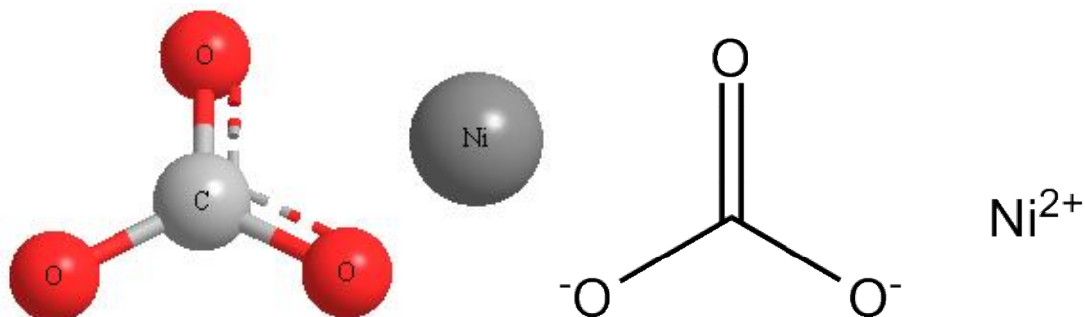


Рисунок 3 – Структурна формула КН

Карбонат нікелю – білий порошок, малорозчинний у воді, практично нерозчинний у спирті. Застосовують його у виробництві кераміки, електроізоляційної порцеляни, захисних покриттів камер згорання і сопел ракетних двигунів, емалей, кислототривких покриттів і ґрунтовок для алюмінію, листової сталі і чавуну, скла з підвищеною міцністю і стійкістю до атмосферної корозії, високою проникністю для ультрафіолетового випромінювання.

Карбонат нікелю – жовті або зелені кристали, що застосовують як наповнювач в керамічній промисловості, а також для отримання нікелевих каталізаторів. Є проміжним продуктом при аміачному вилуговуванні нікелевих руд.

Епоксидні КМ формували за технологією, наведеною у праці [9].

У роботі досліджували наступні властивості КМ: термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР), теплостійкість (T), термостійкість (ДТА і ТГА-аналіз).

Теплостійкість (за Мартенсом) КМ визначали згідно з ГОСТ 21341-75. Методика дослідження полягає у визначенні температури, при якій досліджуваній зразок нагрівали зі швидкістю $v = 3$ К/хв під дією постійного згинаючого навантаження $F = 5 \pm 0,5$ МПа, внаслідок чого він деформується на задану величину ($h = 6$ мм).

Термічний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів розраховували за кривою залежності відносної деформації від температури, апроксимуючи цю залежність експоненціальною функцією. Відносну деформацію визначали за зміною довжини зразка при підвищенні температури у стаціонарних умовах (ГОСТ 15173-70). Розміри зразків для дослідження: $65 \times 7 \times 7$ мм, непаралельність шліфованих торців складала не більше 0,02 мм. Перед дослідженням вимірювали довжину зразка з точністю $\pm 0,01$ мм. Швидкість підняття температури становила $v = 2$ К/хв.

Відхилення значень при дослідженнях показників теплофізичних властивостей КМ (теплостійкість (за Мартенсом), ТКЛР) становило 4...6 % від номінального.

Для дослідження впливу кількості наповнювача на термічні перетворення у композитах застосовували метод термогравіметричного (ТГА) і диференціально-термічного (ДТА) аналізу, використовуючи дериватограф «Thermoscan-2». Дослідження проводили у температурному діапазоні $\Delta T = 298...873$ К, використовуючи кварцові тиглі для зразків з об'ємом $V = 0,5$ см³. Під час дослідження швидкість підняття температури становила $v = 10$ К/хв, при цьому як еталонну речовину використовували Al_2O_3 ($m = 0,5$ г), наважка досліджуваного зразка становила – $m = 0,3$ г. Похибка визначення температури становила $\Delta T = \pm 1$ К. Точність визначення теплових ефектів – 3 Дж/г. Точність визначення зміни маси зразка – $\Delta m = 0,001$ г.

Результати досліджень та їх обговорення. Для визначення оптимального вмісту наповнювачів у епоксидній матриці з поліпшеними властивостями на початковому етапі досліджували теплостійкість (за Мартенсом) КМ, наповнених мікродисперсними частками КЛ та КН, у температурному діапазоні $\Delta T = 273...423$ К. При цьому вміст наповнювачів змінювали у межах $q = 0,5...40$ мас.ч.

Експериментально встановлено (рис. 4), що теплостійкість матриці при наведених вище режимах зшивання становить $T = 341$ К.

Введення у епоксидний олігомер часток дисперсного наповнювача КЛ за вмісту $q = 0,5...40$ мас.ч. (тут і далі за текстом вміст дисперсних часток наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру) приводить до збільшення показників теплостійкості КМ до $T = 342...356$ К (рис. 4). Максимальним значенням теплостійкості $T = 356$ К характеризується КМ, наповнений КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Такий результат можна пояснити нормалізацією молекулярної рухливості структурних елементів ланцюгів за рахунок взаємодії функціональних груп епоксидної смоли, твердника та іонів літію Li^+ , який виконує функцію комплексоутворювача і взаємодіє, утворюючи фізичні та хімічні зв'язки, з функціональними групами і сегментами макромолекул зв'язувача. При цьому навколо часток добавки у полімері утворюються зовнішні поверхневі шари, які відзначаються високим ступенем зшивання, порівняно з полімером у об'ємі [4].

Збільшення вмісту часток КЛ в КМ від $q = 1,0$ мас.ч. до $q = 40$ мас.ч. призводить до монотонного зменшення теплостійкості матеріалів за рахунок надмірної кількості наповнювача і суттєвої різниці у значеннях теплопровідності наповнювача та матриці. Тобто, зі збільшенням добавки кінетична енергія атомів й молекул, яка в основному визначає температуру матеріалу, швидше передається атомам і молекулам у тих областях композиту, де температура нижча і розповсюджується по всьому об'єму системи.

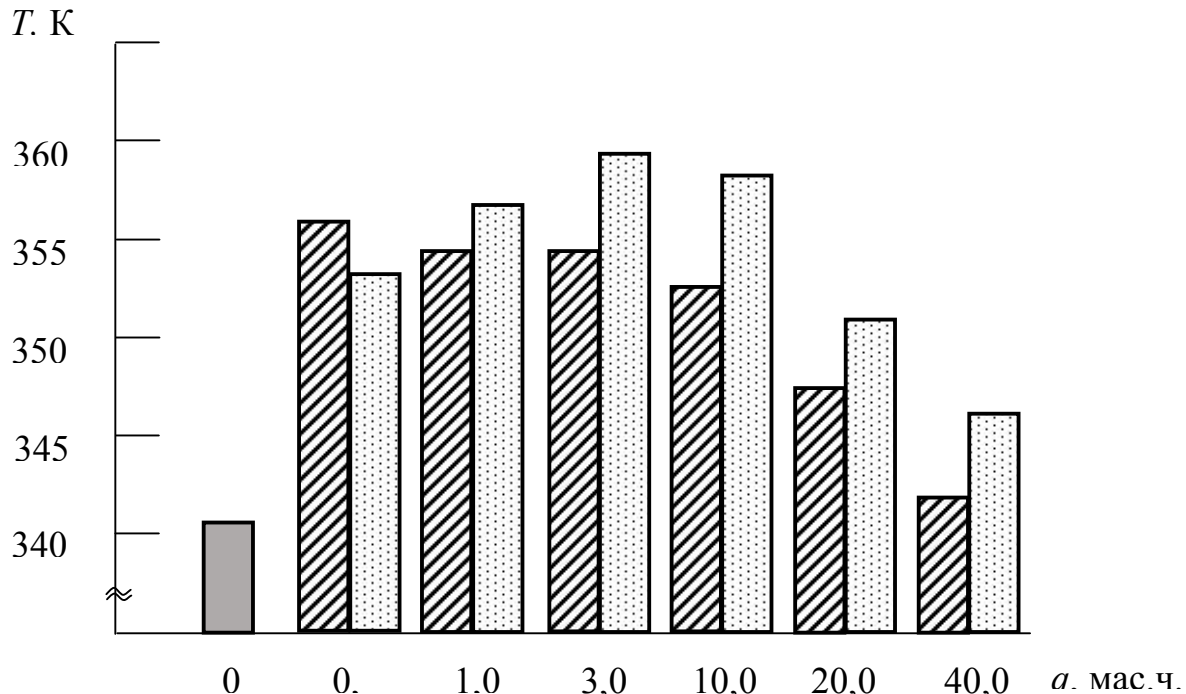





Рисунок 4 – Залежність теплостійкості (T) КМ від вмісту мікродисперсних наповнювачів: 1 – матриця; 2 – $q = 0,5$ мас.ч.; 3 – $q = 1,0$ мас.ч.; 4 – $q = 3,0$ мас.ч.; 5 – $q = 10$ мас.ч.; 6 – $q = 20$ мас.ч.; 7 – $q = 40$ мас.ч.

-  – матриця;
-  – наповнювач КЛ;
-  – наповнювач КН.

Стосовно КМ з наповнювачем КН встановлена наступна тенденція (рис. 4). При введенні дисперсного наповнювача у кількості $q = 0,5 \dots 10$ мас.ч. спостерігали суттєве збільшення показників теплостійкості КМ до $T = 346 \dots 359$ К. Максимум залежності теплостійкості від вмісту КН встановлено при вмісті $q = 3,0$ мас.ч. дисперсного наповнювача ($T = 359$ К). Збільшення показників теплостійкості пов'язане зі зменшенням молекулярної рухливості структурних елементів ланцюгів у системах при їх структуроутворенні та підвищенням хімічної взаємодії активних центрів часток наповнювача із макромолекулами та сегментами епоксидного зв'язувача. Зменшення показників теплостійкості з $T = 359$ К за вмісту $q = 3,0$ мас.ч. до $T = 346 \dots 352$ К за вмісту $q = 20 \dots 40$ мас.ч. спричинене поступовим перенасиченням системи дисперсною добавкою і збільшенням швидкості передачі температури тіла по об'єму КМ. Доведено, що для досягнення максимального значення показників теплостійкості КМ, наповнених подібними за структурою наповнювачами, необхідно у зв'язувач вводити частки КН у 6 разів більше, ніж часток КЛ. Це зумовлено тим, що сполуки Ni характеризуються інтенсивнішим теплообміном у об'ємі матеріалу, порівняно з аналогічними сполуками Li .

На наступному етапі досліджували ТКЛР епоксикомпозитів, наповнених частками КЛ та КН (рис. 5, рис. 6, табл. 1, табл. 2). Експериментально встановлено, що із зростанням температури ТКЛР епоксикомпозитних матеріалів зменшується. Дослідження поведінки КМ у області лінійного розширення при $\Delta T = 303 \dots 473$ К дозволяє стверджувати, що найменшим значенням ТКЛР характеризуються матеріали із вмістом

КЛ та КН у кількості $q = 0,5 \dots 3,0$ мас.ч. та $q = 3,0 \dots 20$ мас.ч. відповідно. При цьому значення ТКЛР для КМ, наповнених КЛ, становить $\alpha = (7,6 \dots 7,7) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, а для КМ, наповнених КН, – $\alpha = (6,4 \dots 7,1) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Тобто, максимальна кількість рівномірно розподілених за об'ємом часток наповнювача забезпечує формування сітчастої структури полімеру із максимальним ступенем зшивання. Це дозволяє забезпечити стійкість розроблених матеріалів до лінійних та об'ємних деформацій у процесі експлуатації.

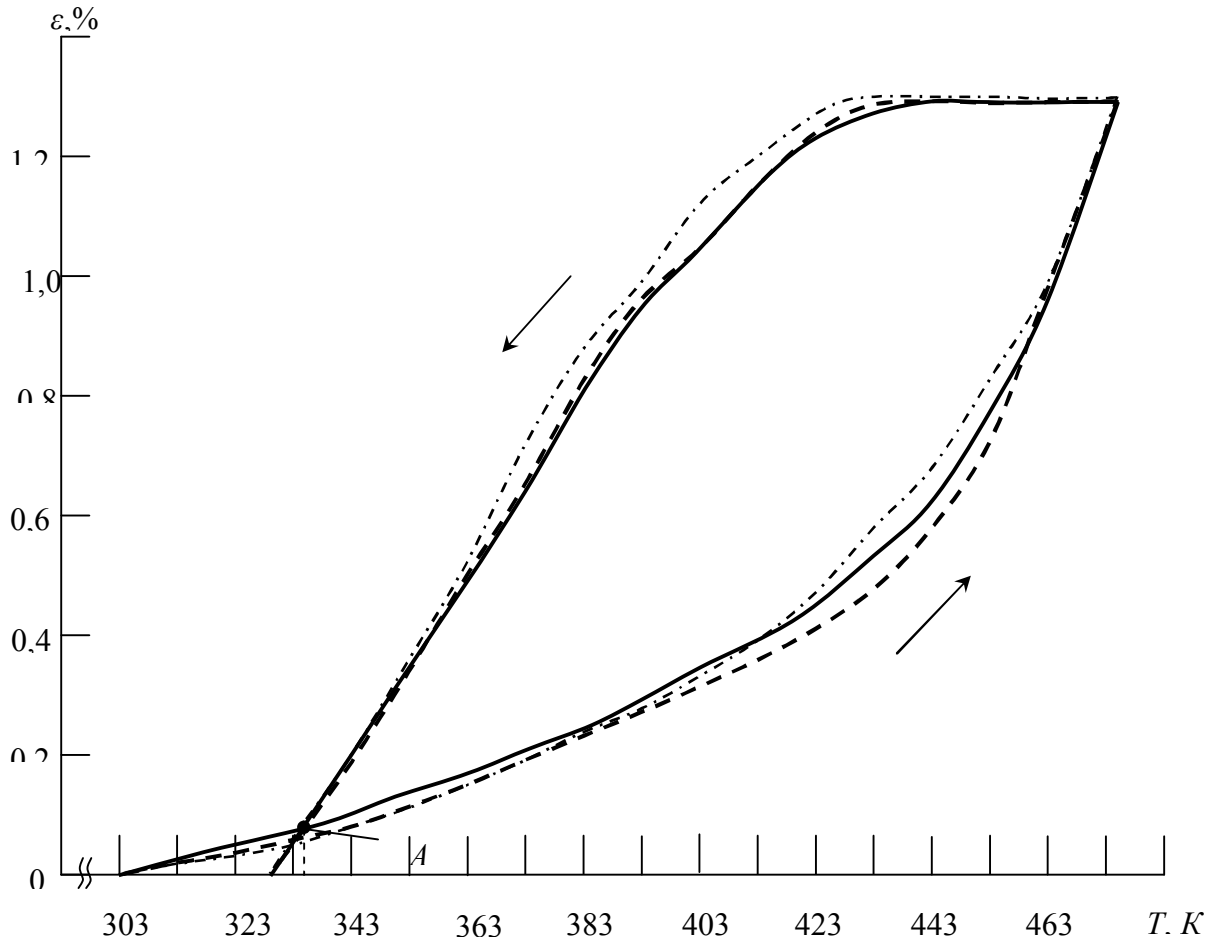


Рисунок 5 – Дилатометричні криві епоксикомпозитів з різним вмістом КЛ:
 — — $q = 0,5$ мас.ч.; — — — $q = 1,0$ мас.ч.; — · — · — $q = 3,0$ мас.ч.

Таблиця 1 – Теплофізичні властивості КМ, наповнених частками КЛ

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}, \text{ K}^{-1}$				Температура склування, T_c , K	Усадка, δ , %
	Температурні діапазони випробування, ΔT , K					
	303...323	303...373	303...423	303...473		
матриця	6,3	6,8	9,9	10,9	313	0,32
0,5	1,7	2,8	3,2	7,6	335	0,32
1,0	1,6	2,8	3,2	7,6	334	0,26
3,0	1,6	2,7	3,9	7,7	333	0,24
10	1,8	2,9	4,0	7,8	328	0,24
20	1,9	3,0	4,6	8,0	320	0,20
40	2,0	3,0	4,7	8,1	318	0,19

Важливим релаксаційним переходом у епоксикомпозитах є температура склування (T_c), яка характеризує значення кінетичної енергії структурних елементів полімеру, а, отже, і швидкість переходу матеріалу із вискоеластичного у склоподібний стан. При цьому з підвищенням температури збільшується рухливість основного ланцюга, макромолекул і сегментів епоксидного зв'язувача, а, отже, і швидкість їх переходу із

нерівноважного стану в рівноважний. При цьому максимальним значенням T_c характеризуються КМ із вмістом часток КЛ та КН у кількості $q = 0,5$ мас.ч. (табл. 1) та $q = 3,0$ мас.ч. (табл. 2) відповідно, що свідчить про нормалізацію швидкості перебігу релаксаційних процесів.

Додаткове дослідження усадки композитів дозволяє стверджувати, що вона не перевищувала $\delta = 0,32\%$ для КМ, наповнених частками КЛ, та $\delta = 0,48\%$ для КМ, наповнених частками КН. При цьому мінімальним значенням δ характеризується КМ із вмістом часток КН у кількості $q = 3,0$ мас.ч., яке становить $\delta = 0,03\%$.

На основі аналізу теплостійкості, ТКЛР, температури склування та усадки можна стверджувати, що доцільним є використання композитів з частками КЛ та КН у кількості $q = 0,5$ мас.ч. та $q = 3,0$ мас.ч. відповідно.

У роботі додатково досліджували і аналізували поведінку епоксидних композитів за підвищених температур (термостійкість) методом термогравіметричного (ТГА) та диференційно-термічного (ДТА) аналізу (рис. 7, рис. 8). На основі експериментальних досліджень КМ, наповнених частками КЛ, встановлено відсутність втрати маси (рис. 7, табл. 3) в зразках у температурній області $\Delta T = 303 \dots 593$ К.

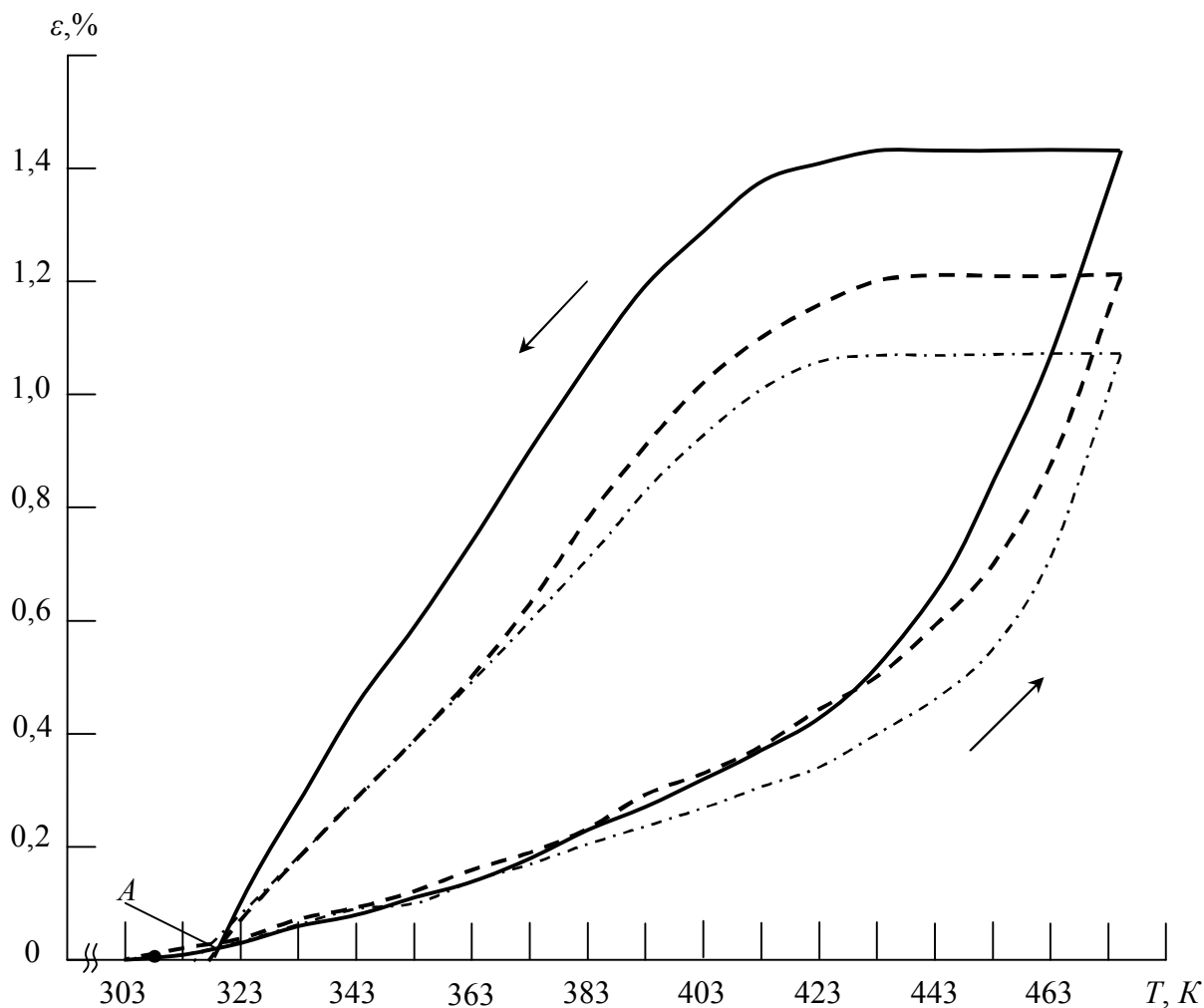
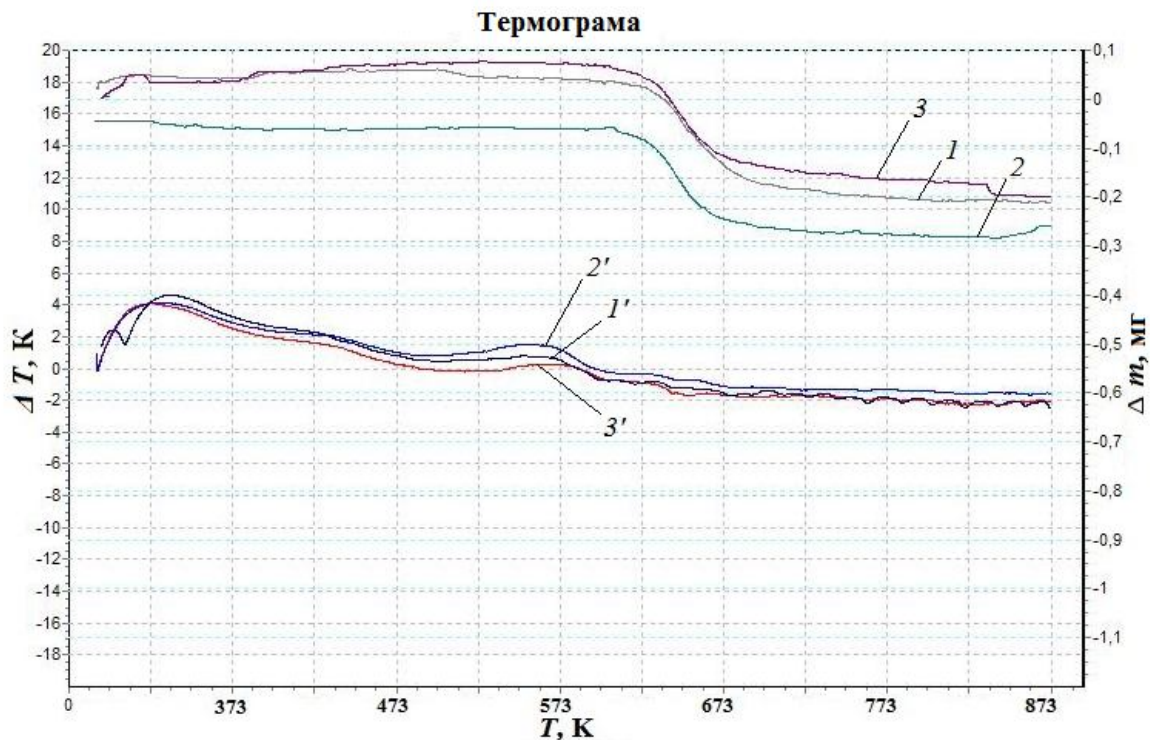


Рисунок 6 – Дилатометричні криві епоксикомпозитів з різним вмістом КН:
 — — $q = 3$ мас.ч.; - - - $q = 10$ мас.ч.; - . . - $q = 20$ мас.ч.

Таблиця 2 – Теплофізичні властивості КМ, наповнених частками КН

Вміст наповнювача, q , мас. ч.	Термічний коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha \times 10^{-5}, K^{-1}$				Температура склування, T_c, K	Усадка, δ , %
	Температурні діапазони випробування, $\Delta T, K$					
	303...323	303...373	303...423	303...473		
матриця	6,3	6,8	9,9	10,9	313	0,32
0,5	3,2	4,2	6,0	9,0	313	0,09
1,0	3,0	4,1	4,9	7,9	315	0,08
3,0	1,7	2,6	3,5	6,4	320	0,03
10	2,1	2,7	3,6	7,1	319	0,14
20	1,7	2,5	2,9	6,4	319	0,41
40	1,7	2,4	2,9	6,4	312	0,48


 Рисунок 7 – Дериватограми КМ, наповнених частками КЛ:
 1, 1' – 5 мас. ч.; 2, 2' – 10 мас. ч.; 3, 3' – 15 мас. ч.

Таблиця 3 – Термостійкість КМ, наповнених частками КЛ

Вміст наповнювача, q , мас. ч.	T_0, K	T_5, K	T_{10}, K	T_{20}, K	T_k, K	$\epsilon_m, \%$
матриця	593	616	625	641	723	60,0
0,5	606	627	634	643	773	70,7
1,0	599	619	628	637	733	71,7
3,0	598	618	628	638	752	75,6
10,0	597	618	627	637	734	76,3
20,0	594	616	625	634	724	78,4
40,0	593	615	625	633	723	78,6

Примітка: T_0 – початкова температура втрати маси (початок деструкції); T_5, T_{10}, T_{20} – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %); T_k – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції); ϵ_m – відносна втрата маси.

На основі вищезазначених даних можна стверджувати, що параметр початкової температури деструкції є визначальним фактором у процесі експлуатації розроблених матеріалів, позаяк при T_0 починається руйнування молекулярних зв'язків у наповненій системі. Максимальним значенням температури початку деструкції характеризується КМ із вмістом часток КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч., яка становить $T_0 = 606$ К, що на $\Delta T = 13$ К більше порівняно з аналогічним показником для зразка з епоксидної матриці. При цьому значення втрати маси становить $\varepsilon_m = 70,7\%$, що є найменшим значенням серед досліджуваних КМ. Це свідчить про рівномірний перебіг процесів деструкції при нагріванні КМ – внаслідок флуктуації теплової енергії у системі енергія теплового руху стає співвимірною з енергією хімічних зв'язків. Очевидно, що підвищується здатність матеріалу зберігати властивості структурної сітки хімічних зв'язків в умовах впливу теплового поля.

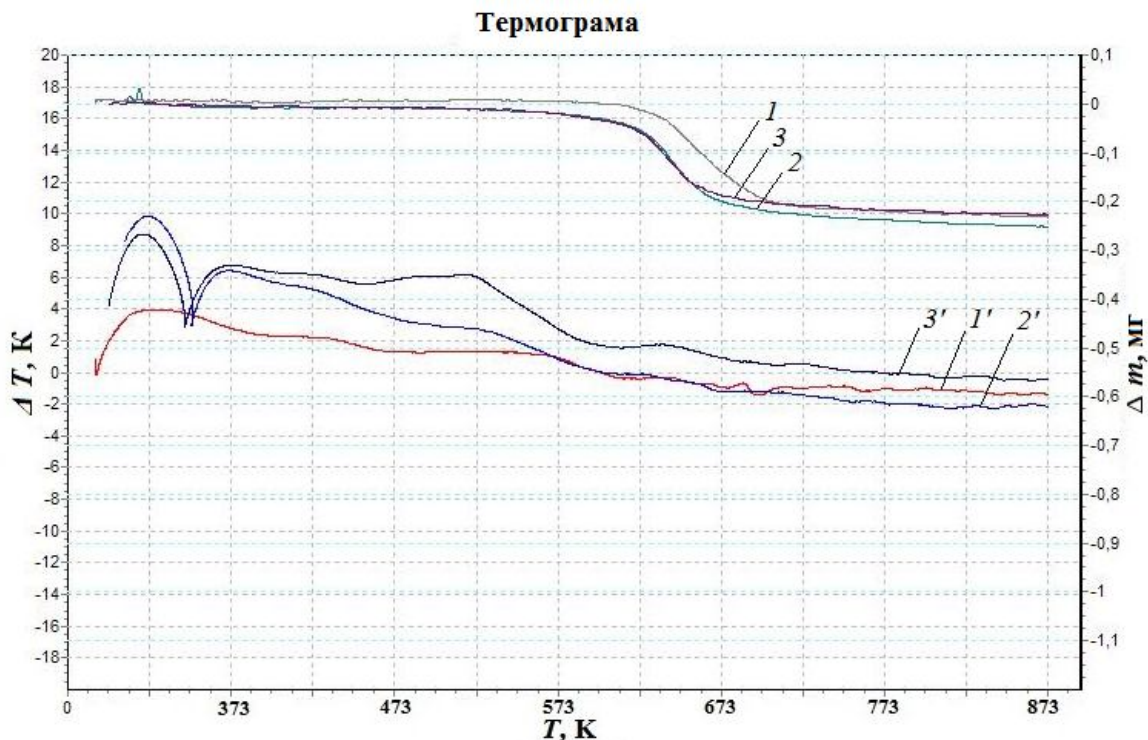


Рисунок 8 – Дериватограми КМ, наповнених частками КН:
 1,1' – 5 мас.ч.; 2,2' – 10 мас.ч.; 3,3' – 15 мас.ч.;

Таблиця 4 – Термостійкість КМ, наповнених частками КН

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	T_0 , К	T_5 , К	T_{10} , К	T_{20} , К	T_k , К	ε_m , %
матриця	593	616	625	641	723	60,0
0,5	593	616	626	639	724	72,4
1,0	593	618	627	639	727	72,3
3,0	594	622	635	647	732	72,3
10,0	571	606	621	633	759	72,3
20,0	545	588	612	629	757	67,7
40,0	542	586	608	620	750	68,0

Примітка: T_0 – початкова температура втрати маси (початок деструкції); T_5 , T_{10} , T_{20} – температури втрати маси (5 %, 10 %, 20 %); T_k – кінцева температура втрати маси (завершення деструкції); ε_m – відносна втрата маси.

Стосовно КМ, наповнених частками КН, встановлено відсутність втрати маси (рис 8, табл. 4) у температурній області $\Delta T = 303 \dots 542$ К. Максимальним значенням температури початку деструкції характеризується КМ із вмістом часток КН у кількості $q = 3,0$ мас.ч., яка становить $T_0 = 594$ К. При цьому значення втрати маси становить $\varepsilon_m = 72,3$ %. Це свідчить про незначне підвищення термостабільності КМ та формування систем без суттєвого підвищення стабільності хімічних зв'язків порівняно із епоксидною матрицею.

Одним із визначальних параметрів при експлуатації розроблених матеріалів є значення екзотермічних ефектів (T_n, T_{max}), які характеризують початок деформації та структурні перетворення у основних ланцюгах макромолекул епоксидної матриці (табл. 5).

Таблиця 5 – Температурні інтервали екзоєфектів КМ, наповнених частками КЛ згідно ДТА

Вміст наповнювача, q , мас.ч.	Температурні інтервали екзоєфектів				Максимальне значення екзоєфектів, T_{max} К
	T_n , К	T_k , К	ΔT_1 , К	ΔT_2 , К	
матриця	460	659	199	3,05	518
0,5	525	652	127	2,00	570
1,0	492	644	152	2,24	559
3,0	497	619	122	1,77	551
10,0	490	621	131	1,67	550
20,0	489	620	131	1,65	551
40,0	490	621	131	1,65	549

Примітка: T_n – початкова температура екзоєфекту; T_k – кінцева температура екзоєфекту; ΔT_1 – температурний інтервал екзоєфекту; ΔT_2 – різниця температур між зразком, у якому відбуваються перетворення, і еталоном, у якому перетворень немає.

Аналіз ДТА-кривих КМ, наповнених частками КЛ (рис. 7, крива 1'-3'), у вищезазначеному діапазоні температур ($\Delta T = 303 \dots 489$ К) дозволив виявити екзотермічні ефекти, які не супроводжуються втратою маси. Вважали, що даний ефект пов'язаний передусім із виділенням вологи і непрореагованих компонентів у процесі нормалізації зв'язків у КМ.

Додатково виявлено екзотермічні ефекти у діапазоні температур $\Delta T = 489 \dots 652$ К (табл. 5). Встановлено, що максимальне значення екзоєфекту $T_{max} = 570$ К характерне для КМ із вмістом часток КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Зміщення піку екзотермічного ефекту у область високих температур зумовлене стійкістю фізико-хімічних зв'язків до руйнування, а, отже, такі матеріали відзначаються поліпшеною термостійкістю. Також зменшення інтервалу екзоєфекту від $\Delta T_1 = 199$ К (для епоксидної матриці) до $\Delta T_1 = 127$ К свідчить про зменшення рухливості і деформації компонентів епоксидного зв'язувача.

Виходячи з того, що КМ, наповнені КН, не відрізняються підвищенням стабільності хімічних зв'язків, порівняно з епоксидною матрицею, детальний аналіз ДТА-кривих для встановлення значень екзоєфектів не проводили.

Якісна комплексна оцінка дериватограм дозволяє стверджувати, що КМ, наповнені частками КЛ у кількості $q = 0,5$ мас.ч., характеризуються поліпшеними теплофізичними властивостями. У цілому можна припустити, що встановлений механізм взаємодії функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні забезпечує поліпшення теплофізичних властивостей матриці на макрорівні.

Висновки. На основі проведених випробувань теплофізичних властивостей з використанням сучасних методів дослідження встановлено допустимі межі температури, при яких можливо використовувати наповнені карбонатом літію та карбонатом нікелю епоксидні композити. Крім того, доведено наступне:

1. Для формування композитного матеріалу чи захисного покриття з поліпшеними теплофізичними властивостями доцільно у епоксидний зв'язувач вводити частки карбонату літію та карбонату нікелю у кількості $q = 0,5$ мас.ч. та $q = 3,0$ мас.ч., позаяк значення теплостійкості (за Мартенсом) КМ для вибраного вмісту наповнювачів становлять $T = 356$ К та $T = 359$ К відповідно.

2. Експериментально встановлено, що за діапазону температур $\Delta T = 303 \dots 473$ К доцільно використовувати композити із вмістом часток карбонату нікелю у кількості $q = 3,0$ мас.ч. Такі матеріали характеризуються найменшим значенням термічного коефіцієнту лінійного розширення, який становить $\alpha = 6,4 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

3. Методом термогравіметричного та диференціально-термічного аналізу досліджено термостійкість розроблених композитів. Показано, що максимальним значенням температури піку екзоефекту, яке становить $T_{max} = 570$ К, відрізняється композит, наповнений частками карбонату літію у кількості $q = 0,5$ мас.ч. Можна припустити, що даний композит характеризується найбільшою енергією активації серед усіх досліджуваних матеріалів. Це свідчить про підвищену стійкість до руйнування хімічних зв'язків розробленого матеріалу. Додатково показано, що визначальними параметрами у процесі експлуатації є початок екзотермічних ефектів, максимальне значення екзотермічного ефекту і початкова температура деструкції, які характеризують початок структурних перетворень, а, отже, і можливий діапазон температур, при якому доцільно використовувати розроблені матеріали.

У цілому можна припустити, що встановлено механізм взаємодії функціональних груп наповнювача та епоксидного олігомеру під час структуроутворення матеріалів на молекулярному рівні. Це дозволяє стверджувати, що введення часток наповнювача карбонату літію за критичного вмісту ($q = 0,5$ мас.ч.) і карбонату нікелю за критичного вмісту ($q = 3,0$ мас.ч.) забезпечує поліпшення у комплексі теплофізичних властивостей композитів на макрорівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зуева Ю. С. Стойкость эластомеров в эксплуатационных условиях / Ю. С. Зуева, Т. Г. Дегтева. – М. : Химия, 1986. – 168 с.
2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие для вузов по специальности «Технология перераб. пласт. масс и эластомеров» / М. Л. Кербер и др.; под общ. ред. А. А. Берлина – СПб. : Профессия, 2008. – 557 с.
3. Принципы создания композиционных полимерных материалов / С. А. Вольфсон, А. А. Берлин, В. Г. Ошмян, Н. С. Ениколопов. – М. : Химия, 1990. – 430 с.
4. Букетов А. В. Епоксидні нанокompозити: монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, В. Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
5. Стухляк П. Д. Епоксикompозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор.. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.
6. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли. – М. : Энергия, 1973, 1982 – 416 с.
7. Липатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах / Ю. С. Липатов. – К. : Наукова думка, 1980. – 260 с.
8. Чернин Н. Е. Эпоксидные материалы и композиции / Н. Е. Чернин. – М. : Химия, 1982. – 228 с.
9. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Saponov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // Visnyk of Kherson National Technical University. – 2015. – № 4 (55). – P. 192-195.
10. Букетов А. В. Улучшение теплофизических свойств композиционных материалов на основе пластифицированной эпоксидной матрицы путем введения

огнеупорных мелкозернистых наполнителей различной физической природы / А. В. Букетов, А. А. Сапронов, А. В. Акимов, Н. В. Браило, Д. А. Зинченко // Механика композиционных материалов и конструкций – 2016. – № 2. – С. 254-268.

REFERENCES

1. Zueva Yu. S. Stoykostj ehlastomerov v ehkspluatacionnikh usloviyakh / Yu. S. Zueva, T. G. Degteva. – M. : Khimiya, 1986. – 168 c.
2. Polimerniye kompozicionniye materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie dlya vuzov po specialnosti «Tekhnologiya pererab. plast. mass i ehlastomerov» / M. L. Kerber i dr.; pod obth. red. A. A. Berlina – SPb. : Professiya, 2008. – 557 s.
3. Principih sozdaniya kompozicionnikh polimernikh materialov / S. A. Voljfon, A. A. Berlin, V. G. Oshmyan, N. S. Enikolopov. – M. : Khimiya, 1990. – 430 s.
4. Buketov A. V. Epoksidni nanokompoziti: monografiya / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, V. L. Aleksenko. – Kherson : KhDMA, 2015. – 184 s.
5. Stukhlyak P. D. Epoksikompozitni materialy, modifikovani energetichnimi polyami / P. D. Stukhlyak, A. V. Buketov, I. G. Dobrotvor.. – Ternopilj : Zbruch, 2008. – 208 s.
6. Li Kh. Spravochnoe rukovodstvo po ehpoksidnim smolam / Kh. Li. – M. : Ehnergiya, 1973, 1982 – 416 s.
7. Lipatov Yu. S. Mezhfazniye yavleniya v polimerakh / Yu. S. Lipatov. – K. : Naukova dumka, 1980. – 260 s.
8. Chernin N. E. Ehpoksidniye materialy ih kompozicii / N. E. Chernin. – M. : Khimiya, 1982. – 228 s.
9. Buketov A. V. The thermophysical properties of epoxy composites filled with silver carbonate microdisperse particles / A. V. Buketov, O. O. Sapronov, D. O. Zinchenko, V. M. Yatsyuk // Visnyk of Kherson National Technical University. – 2015. – № 4 (55). – P. 192-195.
10. Buketov A. V. Uluchshenie teplofizicheskikh svoystv kompozicionnikh materialov na osnove plastificirovannoy ehpoksidnoy matricih putem vvedeniya ogneupornikh melkozernistikh napolniteley razlichnoy fizicheskoy prirodi / A. V. Buketov, A. A. Sapronov, A. V. Akimov, N. V. Brailo, D. A. Zinchenko // Mekhanika kompozicionnikh materialov i konstrukciy – 2016. – № 2. – S. 254-268.

Букетов А.В., Нигалатий В.Д., Зинченко Д.А. РАЗРАБОТКА ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ С ЧАСТИЦАМИ КАРБОНАТА ЛИТИЯ И КАРБОНАТА НИКЕЛЯ ДЛЯ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

На основе проведенных испытаний теплофизических свойств эпоксикомпозитов, наполненных микродисперсным карбонатом лития Li_2CO_3 и карбонатом никеля $NiCO_3$, с использованием современных методов исследования установлены допустимые пределы температуры, при которых возможно внедрять разработанные материалы. Исследован термический коэффициент линейного расширения (α), теплостойкость (T) и термостойкость эпоксикомпозитов. Установлены абсолютные значения термического коэффициента линейного расширения материалов, которые можно использовать в различных температурных диапазонах. Методом дифференциально-термического и термогравиметрического анализа проведено исследование термостойкости и структурных особенностей материалов при увеличении температуры. Установлено, что для формирования композитных материалов с повышенными показателями теплофизических свойств, целесообразно использовать в качестве наполнителя Li_2CO_3 в количестве $q = 0,5$ масс.ч. Такой материал характеризуются наибольшей энергией активации, устойчивостью к структурным преобразованиям при максимальных температурах и интенсивным взаимодействием функциональных групп наполнителя с эпоксидным олигомером при структурообразовании на молекулярном уровне всех исследуемых материалов.

Ключевые слова: эпоксидный композит, карбонат, теплостойкость, термостойкость, деструкция, экзоэффект.

Buketov A.V., Nigalatiy V.D., Zinchenko D.A. DEVELOPMENT OF EPOXY COMPOSITES WITH PARTICLES OF LITHIUM CARBONATE AND NICKEL CARBONATE TO REPAIR PARTS OF POWER INSTALLATIONS OF TRANSPORT EQUIPMENT

On the basis of tests of thermal properties of epoxy composites filled with microfine lithium carbonate Li_2CO_3 carbonate and nickel NiCO_3 , using modern research methods set permissible limits of temperature, at which it is possible to implement the developed materials. The thermal expansion coefficient (α), heat resistance (T) and thermal of epoxy composites. We set the absolute values of the thermal expansion coefficient of materials which can be used in different temperature ranges. The method of differential thermal and thermogravimetric analysis studied the thermal stability of materials and structural characteristics as the temperature increases. It is found that the formation of composite materials with enhanced thermal properties, it is advisable to use as a filler in an amount of Li_2CO_3 $q = 0,5$ %. This material is characterized by the highest activation energy, resistance to structural change at the highest temperatures and intense interaction of the functional groups of the filler with an epoxy oligomer with the structure formation at the molecular level, all of the materials.

Keywords: epoxy composite carbonate, heat resistance, heat resistance, destruction, exoeffect.

© Букетов А. В., Нігалатій В. Д., Зінченко Д. О.

Статтю прийнято
до редакції 10.09.15