

## **ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ У ЕПОКСИКОМПОЗИТАХ ПІСЛЯ МОДИФІКАЦІЇ МАТРИЦІ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ГІДРОУДАРОМ**

*Досліджено релаксаційні властивості епоксикомпозитних матеріалів залежно від хімічної та магнітної природи дисперсного наповнювача. Проаналізовано шляхи поліпшення властивостей полімеркомпозитних матеріалів внаслідок попередньої обробки олігомерних композицій електроіскровим гідроударом. Встановлено, що така модифікація гетерогенних композицій підвищує властивості завдяки зміні кінетики структуроутворення у композитах, яка визначається взаємодією на межі поділу системи «наповнювач-полімер». На ці процеси суттєво впливають природа модифікуючої добавки та умови зшивання макромолекул до кінетично-активних центрів на поверхні наповнювачів. Експериментально доведено, що використання попередньої обробки матеріалу гідроударом дозволяє в широких межах регулювати експлуатаційні характеристики захисних покриттів внаслідок структуруючих ефектів у поверхневих шарах.*

### **Умовні позначення**

ЕГУ – електроіскровий гідроудар;

КМ – композитні матеріали;

$\text{tg } \delta$  - тангенс кута діелектричних втрат;

$T_m$  – температура максимуму тангенса кута діелектричних втрат.

**Вступ.** Особливості формування полімерних композитних матеріалів (КМ) мають важливе значення у визначенні комплексу їхніх властивостей, а дослідження особливостей поведінки макромолекул на межі поділу фаз є однією з найбільш важливих задач у цій галузі [1,2]. У попередніх роботах [3,4] розглянуто закономірності і механізм структуроутворення у поверхневих шарах матриці навколо дисперсного наповнювача. Показано, що ступінь зшивання матриці у поверхневих шарах, а також їхня протяжність та структурні характеристики суттєво залежать від топології поверхні, хімічної активності і магнітної природи дисперсних частинок. Тому найбільш цікавим на подальших етапах досліджень є вирішення питання про кількісний вклад поверхневих шарів у зміну властивостей полімерної матриці при формуванні і експлуатації КМ. Важливим є дослідити механізми, що визначають властивості поверхневих шарів.

У зв'язку з цим дослідження локальної рухливості полімера у поверхневих шарах має важливе значення для кількісної і якісної оцінки явищ, що відбуваються при адгезійній взаємодії в'язучого з твердою поверхнею [5,6]. При цьому цікавим з наукової і практичної точки зору було оцінювання поведінки найбільш рухливих кінетичних одиниць полімерного ланцюга при підвищених температурах. Відомо [7], що нагрівання КМ до температур, які вищі за температуру склування полімера, зумовлює руйнування фізичних вузлів. Це, у свою чергу, забезпечує зростання рухливості таких агрегатів. Отже, аналіз результатів досліджень локальної рухливості компонентів макроланцюга (груп і сегментів) у полімері з підвищенням температури дозволить оцінити ступінь хімічного зшивання матриці у поверхневих шарах.

Попередніми дослідженнями встановлено [8], що ступінь зшивання матриці у поверхневих шарах регулюють шляхом попередньої модифікації матриці зовнішніми полями, зокрема електроіскровим гідроударом (ЕГУ). Показано, що попередня обробка компонентів матриці ЕГУ забезпечує утворення активних радикалів. Новоутворені радикали відзначаються високою активністю і рухливістю, що забезпечує більш інтенсивну їх взаємодію з активними центрами на поверхні дисперсних частинок. Завдяки проходженню дифузійних процесів і внаслідок впливу електростатичних та магнітних сил взаємодії спостерігали зміну конформаційного набору макромолекул у поверхневих шарах після вказаної попередньої обробки

матеріалу матриці. У зв'язку з цим цікавим було дослідження впливу попередньої обробки компонентів матриці ЕГУ на молекулярну рухливість в'язучого у КМ при підвищених температурах і, відповідно, на ступінь зшивання матриці у композитах.

Мета роботи - дослідження молекулярної рухливості у поверхневих шарах в'язучого вихідних і модифікованих електроіскровим гідроударом композитів.

**Матеріали і методика досліджень.** Об'єктом дослідження вибрано епоксидіановий олігомер марки ЕД-20. Епоксидний композит формували методом гідродинамічного суміщення компонентів з використанням пластифікатора – алифатичної смоли ДЕГ-1 при концентрації 10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли. Затверджували епоксидні композити, використовуючи твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) у стехіометричному співвідношенні компонентів системи.

У роботі [3] показано, що об'єм поверхневих шарів у композитах можна прогнозовано регулювати шляхом направленою переведення полімера у критичний стан, при якому увесь об'єм в'язучого переходить у стан поверхневих шарів підвищеної жорсткості. Визначення критичного стану (критичної концентрації наповнювача) ґрунтується на здатності наповнювача впливати на процеси структуроутворення матриці біля його поверхні внаслідок іммобілізуючої дії твердих частинок. При цьому важливе значення, крім концентрації наповнювача, має його дисперсність і питома площа поверхні, а також – хімічна активність і магнітна природа добавок. У зв'язку з цим, на основі попередніх досліджень фізико-механічних і теплофізичних властивостей КМ, у роботі для порівняльного аналізу як наповнювач вибрано бідисперсні частинки різної магнітної природи [3,4]. Це забезпечує максимальний ступінь зшивання матриці у поверхневих шарах, що, у свою чергу, позначається на молекулярній рухливості в'язучого при дослідженнях матеріалу при підвищених температурах.

Враховуючи вище сказане з метою покращення когезійних характеристик КМ у в'язуче вводили бідисперсні наповнювачі різної магнітної природи. Як основний наповнювач вибрано діамагнетик – SiC, парамагнетик – V<sub>4</sub>C і феромагнетик – ферит марки 1500 НМ3 при концентрації 80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера і з дисперсністю 63 мкм. З метою визначення критичної концентрації наповнювача у матрицю додатково вводили дрібнодисперсні частинки (дисперсність – 10-20 мкм) оксиду алюмінію (діамагнетик), оксиду хрому (парамагнетик) і газової сажі (ГС) (феромагнетик) при різних концентраціях.

Методику та режими обробки компонентів матриці електроіскровим гідроударом на розробленій установці детально описано у роботі [8]. Зазначимо, що обробку епоксидної смоли і пластифікатора ЕГУ проводили окремо, до суміщення цих компонентів. В подальшому вводили наповнювачі при різних концентраціях і твердник. Після гідродинамічного суміщення компонентів проводили термообробку епоксикомпозитів за оптимальними технологічними режимами:  $T=393\pm 2$  К,  $\tau=2,0\pm 0,05$  год. Крім того, з метою поліпшення змочуваності наповнювача в'язучим на стадії формування матеріалу проводили додаткову попередню термообробку дисперсних частинок за режимом:  $T=423\pm 2$  К,  $\tau=2,0\pm 0,05$  год. Після охолодження наповнювача на повітрі до кімнатних температур протягом  $\tau=3-5$  хв. його вводили у матрицю. Такий режим формування матеріалу з наступною термообробкою дозволить видалити вологу та інші летючі речовини з поверхні наповнювача. Це, у свою чергу, забезпечить покращення процесу формування поверхневих шарів матриці навколо дисперсних частинок.

Тангенс кута діелектричних втрат при термостатуванні КМ визначали за допомогою моста змінного струму Е7-14 для частот 1 і 10 кГц за стандартною методикою згідно з ГОСТ 6433.4-71 [9]. Зразки для дослідження формували за розмірами: діаметр –  $D=30\pm 0,5$  мм., висота –  $h=5\pm 0,05$  мм.

**Обговорення експериментальних результатів досліджень.** На рис.1-3 наведено результати досліджень тангенса кута діелектричних втрат ( $\text{tg } \delta$ ) для частоти 1 кГц від температури для КМ, що містять основний і додатковий наповнювач. Зауважимо, що

наповнювачі як основний, так і додатковий групували залежно від їхньої магнітної природи. Тобто в композицію, на основі попередньо модифікованої ЕІГУ епоксидної смоли окремо вводили наповнювачі діа-, пара- та феромагнітної природи. Для порівняльного аналізу незалежно проводили експериментальні дослідження КМ з вихідною епоксидною матрицею при вибраних концентраціях дисперсних частинок.

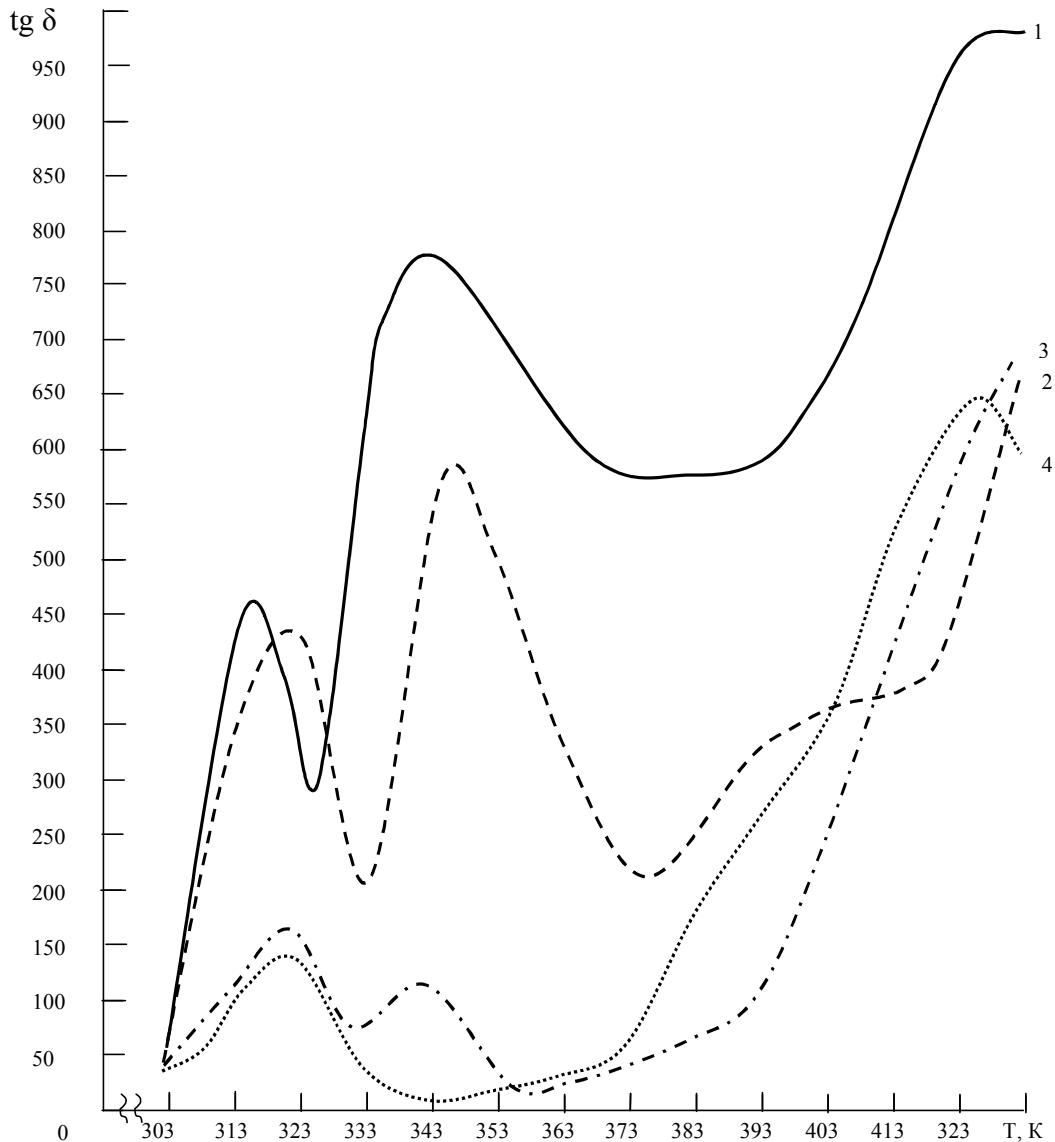


Рис. 1. Залежність тангенса кута діелектричних втрат від температури у КМ, що містить 80 мас.ч. основного наповнювача (SiC) і додатковий наповнювач ( $Al_2O_3$ ) на 100 мас.ч. епоксидної смоли:  
 1 – 50 мас.ч.  $Al_2O_3$  (смола необроблена ЕІГУ); 2 - 30 мас.ч.  $Al_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ);  
 3 - 50 мас.ч.  $Al_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ); 4 - 80 мас.ч.  $Al_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ)

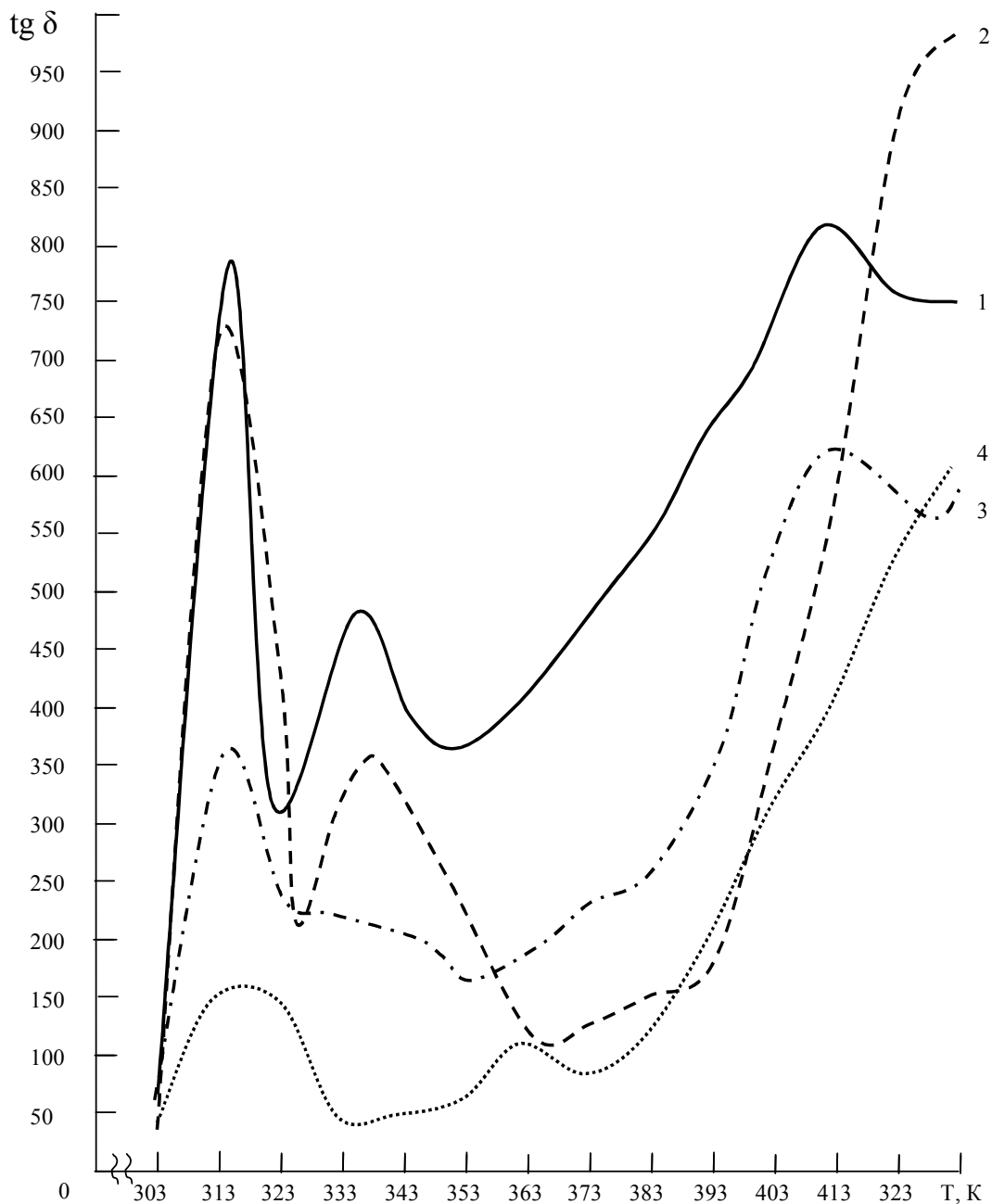


Рис. 2. Залежність тангенса кута діелектричних втрат від температури у КМ, що містить 80 мас.ч. основного наповнювача ( $B_4C$ ) і додатковий наповнювач ( $Cr_2O_3$ ) на 100 мас.ч. епоксидної смоли:  
 1 – 50 мас.ч.  $Cr_2O_3$  (смола необроблена ЕІГУ); 2 - 30 мас.ч.  $Cr_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ);  
 3 - 50 мас.ч.  $Cr_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ); 4 - 80 мас.ч.  $Al_2O_3$  (смола оброблена ЕІГУ)

Експериментально встановлено (рис.1-3), що незалежно від концентрації і магнітної природи бідисперсного наповнювача на кривих залежності тангенса кута діелектричних втрат від температури можна виділити в загальному два максимуми, які відповідають, на наш погляд, процесам релаксації структурних одиниць полімера на різних етапах термообробки. Автором [7] показано, що вказані області релаксації відповідають процесам релаксації груп макромолекул (при температурах  $\Delta T = 310 - 330$  К) і процесам релаксації сегментів ланцюгів (при температурах  $\Delta T = 340 - 360$  К). Для порівняльного аналізу поведінки досліджуваних КМ з вихідною та модифікованою епоксидними матрицями та при різних концентраціях додаткового наповнювача авторами проведена оцінка вказаних максимумів для кожного композита за трьома параметрами: абсолютна величина максимуму тангенса кута діелектричних втрат ( $tg \delta_{max}$ ), температура, при якій спостерігали максимум ( $T_m$ ) і ширина максимуму ( $\Delta T$ ), середні значення якої оцінювали за температурною віссю відповідно методики

[7]. Крім того, з метою підтвердження достовірності отриманих результатів проведено аналіз абсолютного значення  $\text{tg } \delta_{\text{max}}$  при кінцевій температурі досліджень, яка становила  $T = 423 \text{ K}$ . Аналіз експериментальних досліджень подано у табл.1.

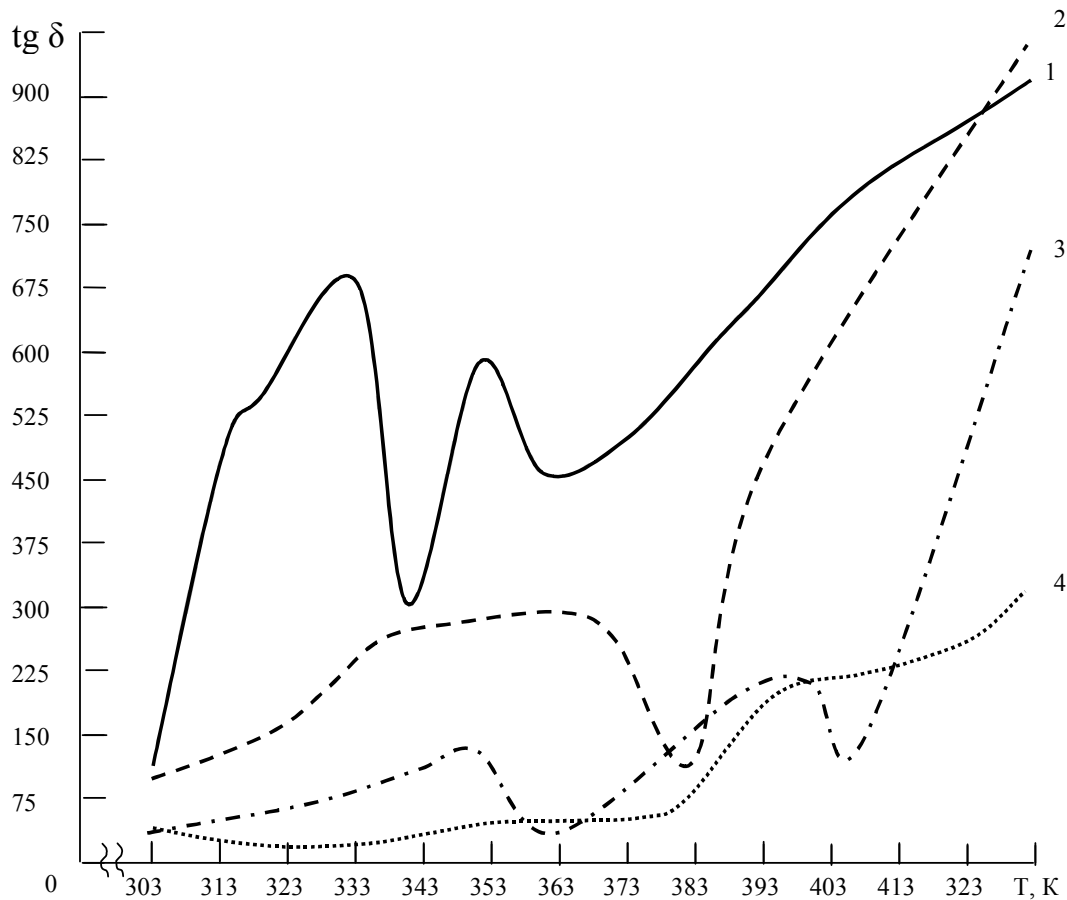


Рис. 3. Залежність тангенса кута діелектричних втрат від температури у КМ, що містить 80 мас.ч. основного наповнювача (ферит) і додатковий наповнювач (газова сажа) на 100 мас.ч. епоксидної смоли: 1 – 50 мас.ч. газова сажа (смола необроблена ЕІГУ); 2 - 30 мас.ч. газова сажа (смола оброблена ЕІГУ); 3 - 50 мас.ч.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (смола оброблена ЕІГУ); 4 - 80 мас.ч. газова сажа (смола оброблена ЕІГУ)

Встановлено (табл.1), що при уведенні однакової концентрації основного і додаткового наповнювачів незалежно від хімічної і магнітної природи частинок після попередньої модифікації епоксидної смоли ЕІГУ стосовно епоксидної матриці відбувається суттєве зменшення максимуму кута діелектричних втрат при аналізі релаксації груп та сегментів. Крім того, обидва визначені процеси релаксації зміщуються в область вищих температур на 5–7 К, а ширина  $\text{tg } \delta_{\text{max}}$  після обробки зростає на 5–10 К. Отримані результати дозволяють стверджувати про значний вплив попередньої обробки епоксидної смоли ЕІГУ на ступінь зшивання матриці у поверхневих шарах. У роботі [8] показано, що вказана попередня обробка зумовлює активацію макромолекул епоксидного олігомера з утворенням вільних радикалів. В результаті такі активні радикали відзначаються високою рухливістю і внаслідок дифузійних процесів більш інтенсивно дифундують до поверхні дисперсних частинок, утворюючи при цьому поверхневі шари значної густини та протяжності. Описаний механізм підтверджується зменшенням максимуму кута діелектричних втрат з одного боку, та його зміщенням у область вищих температур, з іншого боку.

Таблиця 1

Значення параметрів процесів релаксації модифікованих ЕГУ композитів при підвищенні температури

Основний наповнювач	Додатковий наповнювач	Концентрація додаткового наповнювача, q, мас.ч.	Процес релаксації груп			Процес релаксації сегментів			Абсолютна величина tg δ при T=423 К
			tg δ max	Тm, К	Ширина максимума, ΔT, К	tg δ max	Тm, К	Ширина максимума, ΔT, К	
SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	50	452	317	14	780	338	14	978
SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	447	323	16	572	343	18	672
SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	161	323	17	119	343	10	667
SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80	142	323	10	-	-	-	596
B <sub>4</sub> C	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	50	790	313	9	476	328	17	768
B <sub>4</sub> C	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30	746	313	16	360	333	20	982
B <sub>4</sub> C	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	355	313	-	156	343	-	600
B <sub>4</sub> C	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	80	150	323	16	118	363	11	612
Ферит	ГС*	50	675	333	24	586	353	12	925
Ферит	ГС	30	258	336	-	292	358	-	897
Ферит	ГС	50	-	-	-	118	353	14	720
Ферит	ГС	80	-	-	-	37	353	16	296

Примітка: \* - матриця, необроблена ЕГУ

Таблиця 2

Значення параметрів процесів релаксації модифікованих ЕГУ композитів, з наповнювачами до і після термообробки при підвищенні температури

Основний наповнювач	Додатковий наповнювач	Концентрація додаткового наповнювача, q, мас.ч.	Процес релаксації груп			Процес релаксації сегментів			Абсолютна величина tg δ при T=423 К
			tg δ max	Тm, К	Ширина максимума, ΔT, К	tg δ max	Тm, К	Ширина максимума, ΔT, К	
SiC	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	161	323	17	119	343	10	667
SiC**	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> **	50	150	348	27	-	-	-	648
B <sub>4</sub> C	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50	355	313	-	156	343	-	600
B <sub>4</sub> C**	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> **	50	285	313	-	118	343	-	532
Ферит	ГС	50	-	-	-	118	353	14	720
Ферит**	ГС**	50	-	-	-	116	360	18	630

Примітка: \*\* - наповнювач після термообробки при T=423 К

Такі результати пояснюють збільшенням кількості фізичних і хімічних вузлів у поверхневих шарах матриці після ЕГУ, внаслідок чого формується бідш жорстка структурна сітка полімера. Таким чином, при нагріванні спостерігали зменшення рухливості структурних одиниць матриці і незначне збільшення ширини області релаксації як груп, так і сегментів.

Аналіз процесів релаксації кінетичних одиниць макроланцюгів полімера при збільшенні концентрації додаткового наповнювача дозволяє стверджувати наступне. При збільшенні концентрації додаткового наповнювача майже не спостерігали зміщення процесів релаксації груп та сегментів у область вищих температур, однак значення максимуму  $\text{tg } \delta$  зменшувалось у 3–5 разів залежно від природи дисперсних частинок. Це свідчить про збільшення ступеня зшивання матриці у поверхневих шарах, внаслідок чого зменшується рухливість макромолекул при підвищенні температури. Це, у свою чергу, дозволило визначити критичну концентрацію бідисперсного наповнювача у полімерній системі. Експериментально встановлено (табл.1), що оптимальний вміст дисперсних частинок у модифікованій ЕГУ епоксидній матриці, при якій спостерігали мінімальну рухливість макроланцюгів ( $\text{tg } \delta_{\text{max}}$ ), становить 80 мас.ч. основного наповнювача і 50–80 мас.ч. додаткового наповнювача на 100 мас.ч. епоксидного олігомера. При цьому зауважимо, що при певних концентраціях бідисперсних частинок у полімері на температурній залежності максимуму кута діелектричних втрат не спостерігали першого максимуму, що відповідає за процес релаксації груп. Зокрема, це стосується епоксикомполімерів, які містять ферит і газову сажу (рис.3). Аналіз кривої залежності  $\text{tg } \delta_{\text{max}}$  від температури для частоти 10 кГц підтверджує отримані результати. Це пояснюють тим, що області, які відповідають за процеси релаксації груп і сегментів, накладаються, внаслідок чого отримано сумарну картину загального процесу релаксації кінетичних одиниць матриці. Крім того зазначимо, що при обох процесах релаксації  $\text{tg } \delta_{\text{max}}$  для КМ, наповнених феритом і ГС, більше зміщений у область вищих температур, після модифікації матриці ЕГУ, порівняно з композитами наповненими іншими бідисперсними частинками при тих же концентраціях. Таке зміщення пояснюють впливом магнітної природи вказаних частинок на процеси структуроутворення КМ після модифікації матриці. Раніше показано [3,4], що частинки наповнювача феромагнітної природи мають нескомпенсований магнітний момент, який є вектором напруженості магнітного поля навколо наповнювача. При цьому після модифікації матриці ЕГУ, як зазначалося вище, утворюються вільні активні радикали, які, у свою чергу, можна охарактеризувати наявністю дипольного моменту. Відповідно взаємний вплив як магнітних, так і електростатичних сил дипольної взаємодії між поверхнею дисперсних частинок і активними радикалами забезпечує більш інтенсивну взаємодію у процесі зшивання вже на початкових стадіях формування матеріалу. Отже, в результаті наповнення гетерогенної системи феромагнітним бідисперсним наповнювачем утворюється композит з високим ступенем зшивання матриці у поверхневих шарах, що підтверджено експериментальними дослідженнями температурної залежності тангенса кута діелектричних втрат епоксикомполімерів.

Цікавим з наукової і практичної точки зору є фізична модифікація наповнювача на попередньому етапі формування композиції (до його уведення в матрицю). У цьому випадку проходить активація поверхні неактивних наповнювачів і, як наслідок, - покращується міжфазна фізико-хімічна взаємодія між компонентами системи. Зокрема, у роботі проводили попередню термічну обробку дисперсних частинок наповнювача за режимами, описаними у методиці. Попередня термообробка зумовлює видалення вологи з поверхні дисперсних частинок та інших летючих продуктів, що, у свою чергу, збільшує концентрацію активних центрів на одиницю площі поверхні наповнювача. На наш погляд, це покращить міжфазну фізико-хімічну взаємодію у матеріалі і підвищить когезійні властивості епоксикомполімерів. Експериментальні дослідження температурної залежності тангенса кута діелектричних втрат КМ, що містять вихідні і термооброблені

наповнювачі підтверджують дане припущення. Встановлено (табл.2), що незалежно від природи бідисперсного наповнювача спостерігали зменшення  $\text{tg } \delta_{\text{max}}$  на 10–15%, а також його зміщення в область вищих температур на 7–10 К. Отримані результати свідчать про ефективність вказаної попередньої термообробки дисперсних частинок для додаткового покращення когезійної міцності модифікованих ЕГУ епоксикомпозитів.

З метою підтвердження достовірності отриманих результатів проводили дослідження методами електронного парамагнітного резонансу (ЕПР) та ІЧ-спектрокопії вихідної і модифікованої ЕГУ епоксидних матриць, а також – модифікованих ЕГУ епоксикомпозитів. Зазначимо, що при оцінюванні кількості парамагнітних центрів у епоксикомпозитах методом ЕПР-спектроскопії проводили поетапне дослідження епоксидної матриці, наповнювача і композитних матеріалів. В результаті розраховували кількість центрів у ненаповненому і наповненому в'язучому виходячи зі стехіометричного співвідношення компонентів системи.

Аналіз кількості парамагнітних центрів, що виникають у в'язучому при твердненні КМ, дозволяє стверджувати про механізм проходження реакцій зшивання полімера у поверхневих шарах. Результати вимірювань кількості парамагнітних центрів у вихідному і модифікованому ЕГУ в'язучому показали, що у випадку обробки епоксидної смоли при зшиванні кількість парамагнітних центрів значно зменшується. Це свідчить про те, що після модифікації епоксидного олігомера утворюється просторова сітка полімера з більшою густиною фізичних і хімічних вузлів, а отже формується матеріал з більшим ступенем зшивання. Крім того, аналіз кількості парамагнітних центрів у матриці, що містить бідисперсний наповнювач, також свідчить про суттєве зменшення кількості парамагнітних центрів стосовно модифікованого епоксидного в'язучого. Встановлено, що рухливість макромолекул в'язучого, яку оцінювали за рухливістю парамагнітного зонда, знижується при зростанні концентрації додаткового наповнювача. При цьому зазначимо, що кількість парамагнітних центрів у в'язучому мінімальна при концентрації у системі додаткового наповнювача – 50-80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомера. Це, у свою чергу підтверджує припущення про імобілізуючий вплив твердої поверхні бідисперсних частинок на формування поверхневих шарів у матриці, які відзначаються більш зшитою структурою. Зазначимо, що мінімальні значення кількості вказаних центрів спостерігали при аналізі КМ, що містить ферит (80 мас.ч.) як основний наповнювач і ГС (50-80 мас.ч. на 100 мас.ч. в'язучого) як додатковий наповнювач. Отримані результати добре узгоджуються з результатами дослідження тангенса кута діелектричних втрат епоксикомпозитів у напрямку підтвердження механізму впливу на структуроутворення гетерогенних систем при уведенні наповнювачів.

Методом ІЧ-спектроскопії встановлено, що при наповненні епоксидної матриці дисперсними частинками приводить до зменшення інтенсивності смуг поглинання при частотах  $3600\text{--}3780\text{ см}^{-1}$  (валентні коливання ОН-груп), при  $3060\text{ см}^{-1}$  (валентні коливання  $\text{=C-H}$  групи у бензолному кільці) та при  $1600$  і  $1500\text{ см}^{-1}$  (валентні коливання С-С зв'язку). Крім того, при аналізі ІЧ-спектрів КМ, наповнених частинками фериту і газової сажі, виявлено значне зниження інтенсивності смуг поглинання, стосовно модифікованої ЕГУ епоксидної матриці, при частотах  $870$  та  $920\text{ см}^{-1}$  (деформаційні коливання С-С зв'язку в епоксидному сегменті) і смуги при частоті  $420\text{ см}^{-1}$  (деформаційні коливання групи  $\text{-CH}_2\text{-OH}$ ). Це зумовлено зменшенням кількості епоксидних груп у смолі внаслідок їх руйнування і додаткового зшивання з активними центрами на поверхні наповнювачів. Методом електронної мікроскопії підтверджено, що на поверхні вказаних частинок наповнювача адсорбується шар полімера, який за властивостями відрізняється від полімера в об'ємі матеріалу. При цьому встановлено, що при наповненні в'язучого феритом і газовою сажею, на відміну від інших досліджуваних добавок, незалежно від концентрації основного і додаткового наповнювачів формуються поверхневі шари значної протяжності в об'ємі, але з різною



густиною і ступенем зшивання матриці. Очевидно, це зумовлено інтенсифікацією фізичної взаємодії на межі поділу фаз “полімер – наповнювач” в результаті впливу активності дисперсних частинок на зміну конформаційного набору макромолекул і активних радикалів, що утворилися після обробки епоксидної смоли ЕГУ. Цими дослідженнями підтверджено механізм структуроутворення, що забезпечує високі когезійні властивості композиту та більш рівномірний розподіл (за густиною поверхневих шарів) матеріалу при переході від міжфазної границі до об’єму полімера. Це суттєво дозволить підвищити експлуатаційні характеристики досліджуваних композитів.

**Висновки.** На основі проведених експериментальних досліджень можна стверджувати, що попередня обробка епоксидної смоли електроіскровим гідроударом при одночасному уведенні бідисперсного наповнювача забезпечує зменшення молекулярної рухливості макромолекул матриці у поверхневих шарах. Це пов’язано зі зменшенням конформаційного набору макромолекул на межі поділу фаз і обмеженням рухливості груп та сегментів макроланцюгів твердою поверхнею наповнювача. Експериментально встановлено, що важливе значення при зшиванні олігомерного в’язучого має хімічна і магнітна природа дисперсного наповнювача. Показано, що після попередньої обробки ЕГУ епоксидного олігомера доцільно вводити у систему феромагнітний наповнювач. Взаємодія магнітного поля частинок і утворених в результаті зовнішньої модифікації матриці активних радикалів забезпечує високий ступінь зшивання матриці у поверхневих шарах, що позначається на експлуатаційних характеристиках досліджуваних композитів. Аналіз експериментальних досліджень з використанням методів ЕПР-, ІЧ-спектроскопії та електронної мікроскопії підтверджують достовірність отриманих результатів.

Цікавим, з наукової і практичної точки зору, буде проведення порівняльних досліджень корозійної тривкості і стійкості до спрацювання розроблених матеріалів. Такі випробування планується провести авторами у майбутньому.

*In the work the possibility to use modified resin ED-20 as the basis of polymeric matrix for making polymeric-composition protective covering is examined. It is investigated the influence of quantity, chemical and magnetic nature of the fillers to adhesive properties and inner tension of the composition covering. It is found out the presence of magnetic adhesion on the board of phase division composition covering steel lining.*

## Література

1. Колупаєв В.С., Кривцов В.В., Демчук В.Б., МухаБ.І. Дослідження кібернетичної технології одержання полімерних композиційних матеріалів // Композиційні матеріали: Тези доп. III Міжнар. наук.-техн. конф.-К.: ІВЦ “Вид-тво Політехніка”, 2004.-С.98.
2. Кобаса І.М., Мазуркевич Я.С. Метод модифікування неорганічного наповнювача для полімерних композицій // Композиційні матеріали: Тези доп. III Міжнар. наук.-техн. конф.-К.: ІВЦ “Вид-тво Політехніка”, 2004.-С.97.
3. Букетов А., Стухляк П., Долгов М. Дослідження поведінки епоксикомпозитних покриттів в умовах напружено-деформованого стану після їх УФ-опромінення і магнітної обробки // Вісник ТДТУ.-2004.-Т.9,№4.-С.36-45.
4. Букетов А. Адгезійна міцність покриттів з епоксикомпозитів, що оброблялись комплексом зовнішніх полів // Вісник ТДТУ.- 2005.-Т.10,№1.-С.60-69.
5. Савчук П.П., Кашицький В.П., Божко Т.Е., Мельник О.Д. Вплив макросередовища на зносостійкість епоксидного компаунду при фрикційній взаємодії // Міжвузівський збірник “Наукові нотатки”.-Вип.10.-Луцьк: ЛДТУ.-2002.-С.208-214.
6. Левчук В.В., Волошин О.М., Максимцев Ю.Р. Дослідження фононної в’язкості і теплопровідності у гетерогенних полімерних системах // Композиційні матеріали: Тези доп. III Міжнар. наук.-техн. конф.-К.: ІВЦ “Вид-тво Політехніка”, 2004.-С.103.
7. Фабуляк Ф.Г. Молекулярная подвижность полимеров в поверхностных слоях. – К.: Наукова думка, 1983.-144 с.
8. Стухляк П.Д., Букетов А.В., Тотосько О.В., Шовкун О.П. Модифікація епоксидних матеріалів електрогідролічним ударом // Вісник технологічного університету “Поділля”. -2004.-Т.1, Ч.1.- С. 47-49.
9. Практикум по полимерному материаловедению /Под ред. П.Г. Бабаевского. – М.:Химия, 1980.-256с.