

УДК 678.01 : 539.2

## Мікрогетерогенна структура композитів на основі епоксидної смоли та оксиду Fe(III) або Al(III)

*В.І. Штомпель, В.Л. Демченко, В.О. Віленський, Ю.Ю. Керча*

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

*Досліджено структуру композитів на основі епоксидної смоли ЕД-20 та одного з оксидів металів ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) або суміші ПАН і одного оксиду металу, взятих в однаковій кількості. Встановлено залежність процесів структуроутворення у композитах від типу атомів металу в оксидах. Показано, що при однаковій концентраційній залежності ефективного розміру ( $l_p$ ) мікрообластей гетерогенності, що формуються у композитах, і температури прояву сегментальної рухливості ( $T$ ) міжвузлових молекулярних ланок полімерної матриці, абсолютна величина цих структурних параметрів значно менша у композитах з  $Al_2O_3$  порівняно з композитами на основі  $Fe_2O_3$ . У композитах з ПАН структурні зміни виявлено тільки при використанні  $Fe_2O_3$ : величина  $l_p$  зменшується вдвічі порівняно з композитами на основі самого оксиду заліза.*

Як відомо, для досягнення заданих властивостей як лінійних, так і сітчастих полімерів найпростішим методом є створення на їх основі сумішей із полімерами іншої природи чи композитів шляхом введення наповнювачів різного типу (полярних, здатних до взаємодії з полімерною матрицею, або неполярних, інертних щодо матричного полімеру) [1, 2]. Раніше було показано, що ефективним методом впливу на фізико-механічні властивості полімерів є створення на їх основі композитів із солями [3, 4] або оксидами [5] металів різної валентності. Якщо процеси структуроутворення в об'ємі полярних полімерів лінійної чи сітчастої будови, модифікованих солями металів різної валентності, на даний час значною мірою вивчені [6], то питання про структурний стан полімерів, наповнених оксидами металів, залишається відкритим.

У зв'язку з цим ставилося за мету вивчити структуру композитів, отриманих на основі полімеру сітчастої будови та тонкодисперсного порошку одного з оксидів тривалентних металів.

### Експериментальна частина

Дослідження проводили на прикладі композитів, отриманих на основі епоксидної смоли ЕД-20 (ГОСТ 10577-84, виробник Росія), яку отвердівали триетилентетраміном (виробник завод „РІАП“, Україна). Епоксидну смолу (ЕС) використовували без додаткової обробки, а триетилентетрамін (ТЕТА) очищували вакуумною дистиляцією. Твердіння ЕС виконували шляхом змішування її з ТЕТА у співвідношенні 1,00:0,18 відповідно.

Як наповнювачі використовували тонкодисперсні порошки оксидів металів (за даними оптичної мікроскопії розмір частинок порошку  $\sim 200$  нм) –  $Fe_2O_3$  і

$Al_2O_3$ , або суміші поліаніліну (ПАН) і одного з оксидів металів, узятих в однаковій кількості. Оксиди металів  $Fe_2O_3$  (ТУ 6-09-1418-78) і  $Al_2O_3$  (ТУ 6-09-426-75) перед змішуванням зі смолою сушили у вакуумі протягом 24 год. за  $T=100$  °С. ПАН синтезували за методикою, описаною в роботі [7]. Перед суміщенням ПАН з ЕС його частинки змочували в ацетоні й подрібнювали в ступці, після чого сушили у вакуумі протягом 24 год. за  $T=60$  °С.

Концентрація наповнювачів у композитах змінювалася у широкому інтервалі (0,2–19,0 % об.).

З метою однорідного розподілу порошків наповнювача у полімерній матриці перед введенням у об'єм ЕС поверхню наповнювача обробляли 1%-вим розчином ЕС в ацетоні протягом 1 год. з наступним додаванням необхідної кількості ЕС і перемішуванням суміші протягом 1 год за допомогою магнітної мішалки, після чого до неї додавали стехіометричну кількість ТЕТА з наступним перемішуванням ще 0,5 год. Повітря з композитів видаляли за допомогою вакуумного насоса. Композити досліджували у вигляді плівок, отриманих на тефлоновій пластині, отверднення яких тривало протягом 24 год. за  $T=22\pm 2$  °С. Всі композити перед проведенням досліджень піддавали температурній стабілізації за температури 60 °С протягом 24 год.

Мікрогетерогенну структуру композитів досліджували методом малокутового розсіювання рентгєнівських променів за допомогою малокутової рентгєнівської камери КРМ-1 із щільним коліматором, виконаним за методом Краткі. Геометричні параметри камери задовольняли умову нескінченної висоти первинного пучка випромінювання [8]. Експериментальні профілі інтенсивності нормували на величину

фактора послаблення первинного пучка випромінювання зразками композитів, а також на величину їх розсіювального об'єму. Дослідження проводили в  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінюванні, монохроматизованому Ni-фільтром за  $T=20\pm 2$  °С.

Температурну залежність питомої теплоємності композитів досліджували методом диференційної скануючої калориметрії (ДСК) з використанням калориметра, конструкція якого аналогічна описаній у роботі [9]. Дослідження проводили у квазістаціонарному режимі зі швидкістю нагрівання калориметричного блока  $2,0\pm 0,1$  град/хв.

**Результати та їх обговорення**

Попередні дослідження показали, що всі досліджувані композити характеризуються проявом на ширококутовій рентгенівській дифрактограмі лише „аморфного гало“ при  $2\theta=17,7^\circ$ , на фоні якого, тільки у випадку використання  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , має місце прояв трьох дискретних дифракційних максимумів при  $2\theta=23,7, 32,8$  і  $35,4^\circ$ , інтенсивність яких зростає пропорційно збільшенню вмісту оксиду заліза в композиті, хоча відносний рівень кристалічності композиту не перевищує 5 % при 3 % об.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Вказані дифракційні максимуми мають прояв і на дифрактограмах композитів, до складу яких входить однакова кількість ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , що пов'язується з кристалізацією незначної кількості оксиду заліза. Таким чином, досліджувані композити загалом аморфні, що дає змогу в чистому вигляді вивчити їх мікрогетерогенну структуру.

Із аналізу профілів інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів ЕС та композитів на її основі з оксидом алюмінію, поданих у вигляді залежності як  $\tilde{I}$  від  $q$  (рис. 1), так і  $s^3\tilde{I}$  від  $s^3$ , у відповідності з роботами [10, 11], де  $\tilde{I}$  – інтенсивність

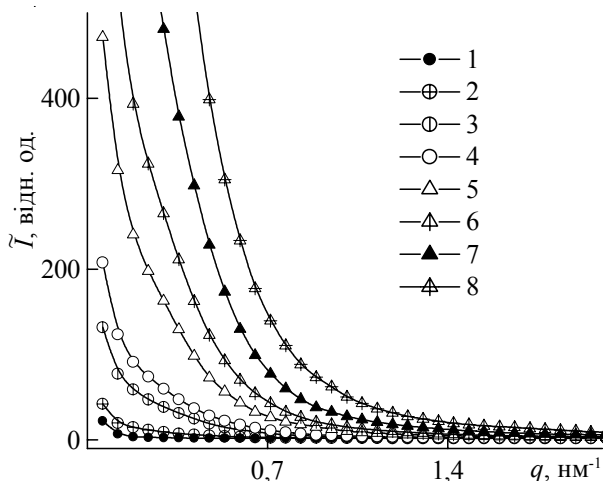


Рис. 1. Профілі інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів зразками композитів на основі ЕД-20 і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Концентрація оксиду алюмінію у композитах становила: 0 (1), 0,2 (2), 0,5 (3), 1,0 (4), 3,0 (5), 5,0 (6) і 9,0 (7) і 19,0 % об. (8)

розсіювання без внесення колімаційної поправки, а  $s$  і  $q$  – пряме і наведене значення одиничного вектора у просторі зворотної ґратки ( $s=\lambda^{-1}2\sin\theta$ , а  $q=2\pi s$ ), витікає, що вихідний сітчастий полімер (ЕС) структурно однорідний (гомогенний), тоді як композити на його основі з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  характеризуються гетерогенністю структури. Це означає, що контраст електронної густини  $\Delta\rho=0$  в об'ємі ЕС, тоді як у композитах величина  $\Delta\rho\neq 0$  і зростає пропорційно збільшенню концентрації в них  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $\Delta\rho=\rho-\langle\rho\rangle$ , де  $\rho$ ,  $\langle\rho\rangle$  – локальне і середнє значення електронної густини в об'ємі псевдодвофазової системи). Важливо відмітити, що утворені в об'ємі композитів мікрообласті гетерогенності стохастично розміщені у просторі. На це вказує послідовне зростання інтенсивності розсіювання в інтервалі значень  $q$  від 0,14 до 1,24  $\text{nm}^{-1}$  в міру збільшення вмісту (концентрації) оксиду алюмінію в об'ємі полімеру сітчастої будови та відсутність прояву інтерференційного максимуму на профілях інтенсивності (рис. 1, криві 2–8).

Напівкількісну оцінку відносного рівня гетерогенності структури досліджуваних композитів проводили шляхом порівняння значень їх інваріанта Порода  $Q$  [12]:

$$Q = \int_0^\infty I(q)q^2 dq,$$

величина якого незалежна (інваріантна) щодо форми мікрообластей гетерогенності та безпосередньо пов'язана із середньоквадратичним значенням флуктуації електронної густини ( $\langle\Delta\rho^2\rangle$ ) в об'ємі двофазової системи ( $\langle\rangle$  – знак усереднення):

$$Q = 2\pi^2 I_e V \langle\Delta\rho^2\rangle,$$

де  $I_e$  – інтенсивність розсіювання рентгенівських променів одиничним електроном,  $V$  – величина розсіювального об'єму,  $\langle\Delta\rho^2\rangle = \phi_1\phi_2(\rho_1-\rho_2)^2$ , при цьому  $\phi_1$ ,

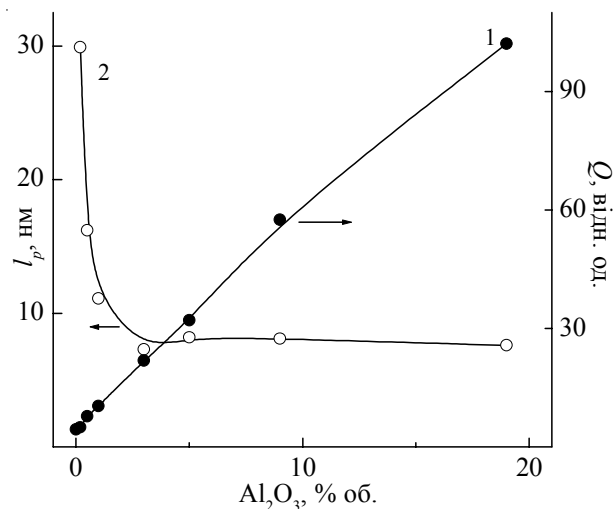


Рис. 2. Графічна залежність інваріанта Порода  $Q$  (1) та діапазону гетерогенності  $I_p$  (2) від концентрації  $\text{Al}_2\text{O}_3$  у композитах

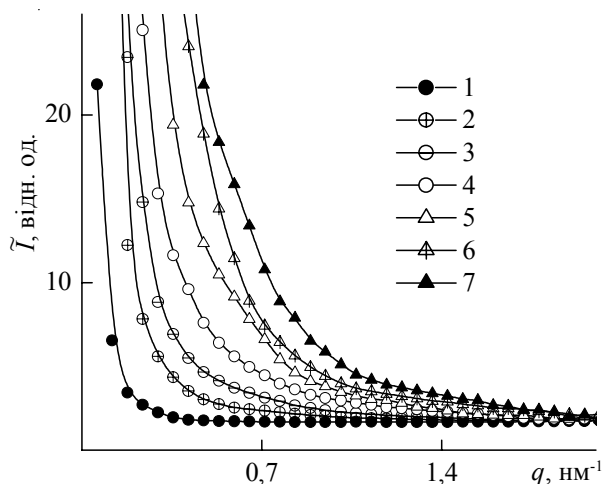


Рис. 3. Профілі інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів зразками композитів на основі ЕД-20 і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Концентрація  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у композитах становила: 0 (1), 0,2 (2), 0,5 (3), 1,0 (4), 3,0 (5), 5,0 (6) і 9,0 % об. (7)

$\varphi_2$  і  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – об’ємна частка і електронна густина фаз ( $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$ ). З концентраційної залежності значень інваріанта  $Q$  (рис. 2) видно, що відносний рівень гетерогенності структури зростає за лінійним законом зі збільшенням концентрації  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в об’ємі сітчастого полімеру (ЕС).

Для більш повної характеристики мікрогетерогенної структури композитів провели оцінку (за методом авторів роботи [11]) ефективного розміру мікрообластей гетерогенності – діапазону гетерогенності  $l_p$ , який характеризує порядок величини розміру вказаних мікрообластей. Цей структурний параметр безпосередньо пов’язаний із середнім діаметром (при проведенні нескінченної кількості ліній через центр ваги мікрообластей) різних за величиною локальної електронної густини мікрообластей гетерогенності ( $\langle l_1 \rangle$ ,  $\langle l_2 \rangle$ ) у двофазовій системі:

$$l_p = \varphi_2 \langle l_1 \rangle + \varphi_1 \langle l_2 \rangle.$$

Із наведеного на рис. 2 графіка залежності величини  $l_p$  від концентрації  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в композитах видно, що зі зростанням вмісту оксиду алюмінію (від 0,2 до 3,0 % об.) ефективний розмір мікрообластей гетерогенності різко зменшується, тоді як при подальшому збільшенні концентрації  $\text{Al}_2\text{O}_3$  до 5,0–19,0 % об. величина  $l_p$  залишається незмінною і становить близько 8 нм. Виявлений ефект зменшення ефективного розміру мікрообластей гетерогенності до постійної величини при послідовному зростанні концентрації  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в композитах може бути пояснений утворенням мікрообластей гетерогенності на поверхні частинок наповнювача (оксиду алюмінію), в результаті взаємодії (на початковій стадії твердіння ЕС) між атомами кисню молекул  $\text{Al}_2\text{O}_3$  із протонами груп NH полімерної матриці, зокрема фрагментів молекул отверджувача (ТЕТА). Зі збільшенням вмісту частинок

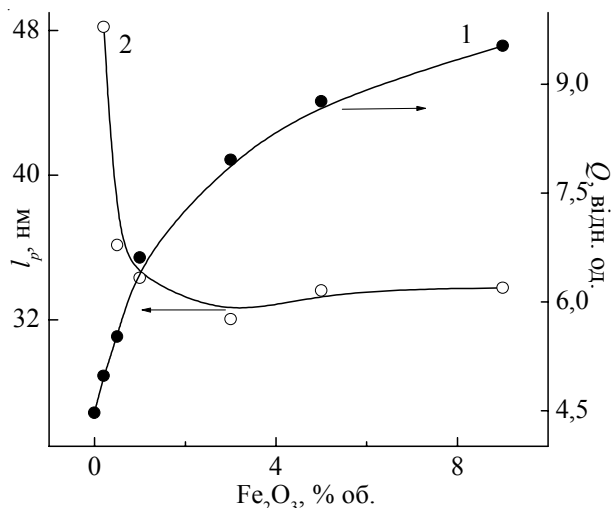


Рис. 4. Графічна залежність інваріанта Порода  $Q$  (1) та діапазону гетерогенності  $l_p$  (2) від концентрації  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у композитах

оксиду металу ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) в об’ємі полімерної матриці розмір мікрообластей гетерогенності зменшується, а коли концентрація оксиду металу досягає, ймовірно, порога перколяції – ефективний розмір мікрообластей гетерогенності стає незмінним.

Характерно, що аналогічні процеси структуроутворення протікають і в композитах, отриманих на основі ЕС і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Так, із наведених на рис. 3 профілів інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів композитів цього типу видно, що, як і для попередніх композитів (на основі ЕС і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), має місце послідовне зростання інтенсивності розсіювання в інтервалі значень  $q$  від 0,16 до 1,20  $\text{nm}^{-1}$  при поступовому зростанні концентрації  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в об’ємі полімерної матриці. У відповідності з цим концентраційна залежність інваріанта  $Q$  подібна до аналогічної залежності для композитів з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 2), однак, спостерігається істотне відхилення графіка  $Q$  від прямої лінії при зростанні вмісту оксиду заліза в композитах від 1,0 до 9,0 % об. (рис. 4). Це є наслідком значного поглинання атомами заліза  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінювання [13]. Як відомо, лише це випромінювання використовується при рентгеноструктурних дослідженнях систем полімерного (олігомерного) типу. Привертає увагу аналогічна композитам на основі ЕС і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  концентраційна залежність ефективного розміру мікрообластей гетерогенності  $l_p$  і вихід на незмінну величину при однаковій концентрації оксиду металу (% об.), однак у композитах з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  незмінна величина ( $l_p$ ) значно більша (~33 нм), ніж у композитах з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 2 і 4). Аналогічна концентраційна залежність характерна і для середньоінтервальних значень температури прояву сегментальної рухливості ( $T_c$ ) міжвузлових молекулярних ланок (переходу із склоподібного у високоеластичний стан) полімерної матриці сітчастої будови досліджуваних композитів на основі ЕС і одного з

Таблиця. Кількісна характеристика температурного переходу склування вихідного сітчастого полімеру (ЕС) і в композитах з  $Al_2O_3$  і  $Fe_2O_3$  за даними ДСК

$Al_2O_3$ , % об.	$T_c$ , °C	$\Delta T_c$ , °C	$\Delta C_p$ , кДж/(кг·град.)	$Fe_2O_3$ , % об.	$T_c$ , °C	$\Delta T_c$ , °C	$\Delta C_p$ , кДж/(кг·град.)
0	74	60	0,116	0	74	60	0,116
0,2	70	39	0,072	0,2	72	49	0,074
1,0	69	43	0,082	1,0	71	46	0,058
3,0	67	45	0,062	3,0	70	53	0,118

оксидів металів (таблиця). Як видно із наведених даних диференційної скануючої калориметрії, зі збільшенням концентрації оксиду металу в композитах має місце послідовне зниження величини  $T_c$ , однак абсолютна величина цього структурного параметра значно менша, при відповідних значеннях концентрації оксиду металу, у композитах з  $Al_2O_3$ , ніж у композитах з  $Fe_2O_3$ . Тобто має місце аналогічне співвідношення структурних параметрів  $T_c$  і  $l_p$  для композитів з  $Al_2O_3$  і з  $Fe_2O_3$ . Це вказує на існування залежності структурної поведінки композитів від типу атомів металу (при однаковій валентності) в оксиді.

Зниження температури склування полімерної матриці сітчастої будови при збільшенні вмісту оксидів металів у її об'ємі є наслідком інтенсивної взаємодії (як за рахунок водневих зв'язків, так, можливо, і в результаті донорно-акцепторних взаємодій) між аміногрупами отверджувача та атомами кисню оксидів металів. Тільки в результаті цих взаємодій прояв сегментальної рухливості міжвузлових молекулярних ланок має місце за меншої температури, а полімерна сітка стає менш густою. Останнє проявляється у зменшенні жорсткості і збільшенні часу твердіння плівкових зразків досліджуваних композитів при зростанні концентрації оксидів металів у їх об'ємі.

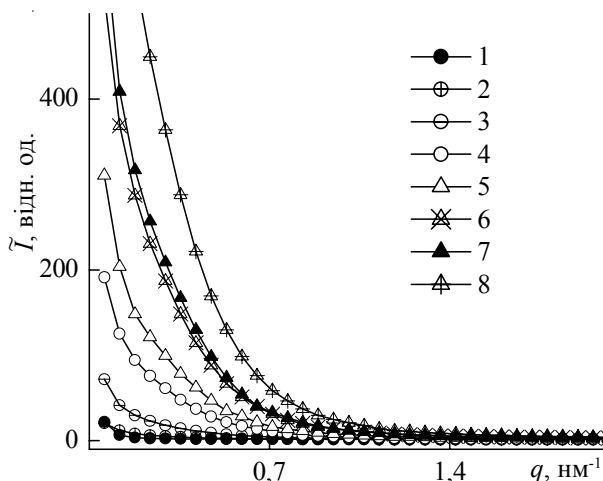


Рис. 5. Профілі інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів зразками композитів на основі ЕД-20 та суміші ПАН і  $Al_2O_3$ . Концентрація суміші ПАН і  $Al_2O_3$  у композитах становила: 0 (1), 0,2 (2), 0,5 (3), 1,0 (4), 3,0 (5), 5,0 (6), 9,0 (7) і 19,0 % об. (8)

Зі збільшенням концентрації оксидів металів зростає величина як температурного інтервалу прояву сегментальної рухливості міжвузлових молекулярних ланок ( $\Delta T_c$ ), так і інкремент питомої теплоємності ( $\Delta C_p$ ). Якщо  $\Delta T_c$  характеризує неоднорідність міжвузлових молекулярних ланок полімерної матриці у величині температури, за якої реалізується їх сегментальна рухливість, то  $\Delta C_p$  відображає інтенсивність цієї рухливості.

З метою збільшення кількості NH-груп у полімерній матриці, а відповідно й інтенсивності водневих зв'язків між цими групами і атомами кисню оксиду металу, у композити вводили також і ПАН, концентрація якого була такою ж, як і оксиду металу. Окремо проведені дослідження методами широко- і малокутової рентгенографії структури композитів на основі ЕС і ПАН, у яких концентрація ПАН змінювалась від 0,2 до 19,0 % об., показали, що ці системи аморфні і структурно гомогенні, на відміну від композитів з оксидами металів. Останнє дало змогу зробити висновок, що в композитах з ПАН відсутня взаємодія (за рахунок водневих зв'язків) між полярними групами полімерної матриці сітчастої будови та дисперсними частинками ПАН.

Разом з тим поступове зростання вмісту (від 0,2 до 19,0 % об.) суміші ПАН і  $Al_2O_3$ , узятих в однаковій кількості, викликає у полімерній матриці послідовне зростання інтенсивності малокутового

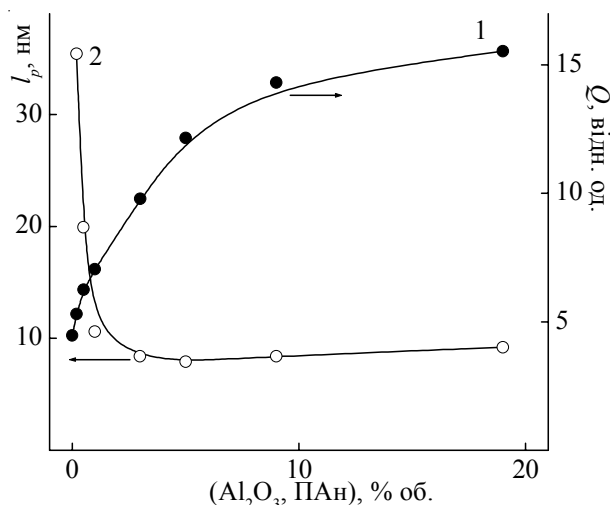


Рис. 6. Графічна залежність інваріанта Порода  $Q$  (1) та діапазону гетерогенності  $l_p$  (2) від концентрації суміші ( $Al_2O_3$ , ПАН) у композитах



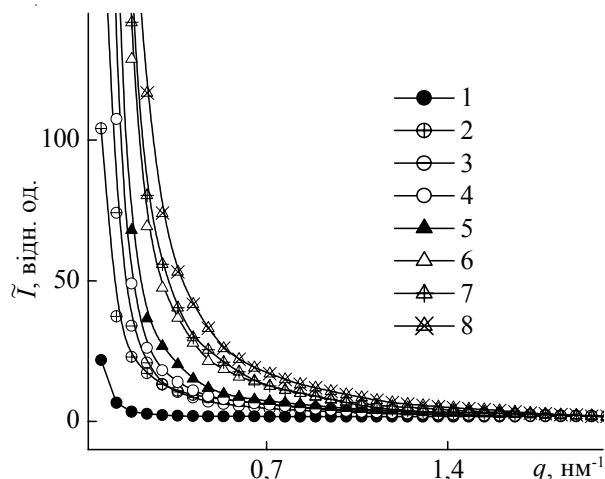


Рис. 7. Профілі інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів зразками композитів на основі ЕД-20 та суміші ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Концентрація суміші ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у композитах становила: 0 (1), 0,2 (2), 0,5 (3), 1,0 (4), 3,0 (5), 5,0 (6), 9,0 (7) і 19 % об. (8)

розсіювання рентгенівських променів в області значень  $q$  від 0,2 до 1,0  $\text{nm}^{-1}$  (рис. 5), аналогічне тому, яке мало місце в системі без ПАН (рис. 1). Відповідно має місце і однакова (для композитів з ПАН і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та композитів лише з  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) концентраційна залежність як ефективного розміру мікрообластей  $l_p$ , у тому числі і незмінної величини  $l_p$ , так і рівня гетерогенності структури, судячи з характеру зміни інваріанта  $Q$  (рис. 2 і 6).

Поступове зростання інтенсивності малокутового розсіювання рентгенівських променів в області значень  $q$  від 0,2 до 1,2  $\text{nm}^{-1}$  наявне і при збільшенні концентрації суміші ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  у композитах (рис. 7). Характерно, що концентраційна залежність величини ефективного розміру мікрообластей гетерогенності  $l_p$  у композитах з ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 8) подібна до аналогічної залежності для композитів лише на основі ЕС і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 4), однак абсолютні значення  $l_p$  у композитах, де крім оксиду заліза наявні дисперсні частинки ПАН, менші (удвічі) від таких для композитів з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 4). Це вказує на існування залежності процесів структуроутворення у композитах з оксидами металів однакової валентності від типу атомів металу. Водночас концентраційна залежність

## Література

1. Кулезнев В.Н. Смеси полимеров. – М.: Химия, 1980. – 300 с.
2. Физикохимия многокомпонентных полимерных систем /Под ред. Ю.С. Липатова. – Киев: Наук. думка, 1986. – Т.1. – 375 с.
3. Греков А.П., Отрошко Г.В. // Синтез и физикохимия полимеров. – 1978. – Вып.23. – С. 56–59.
4. Робота Л.П., Греков А.П., Штомпель В.И.,

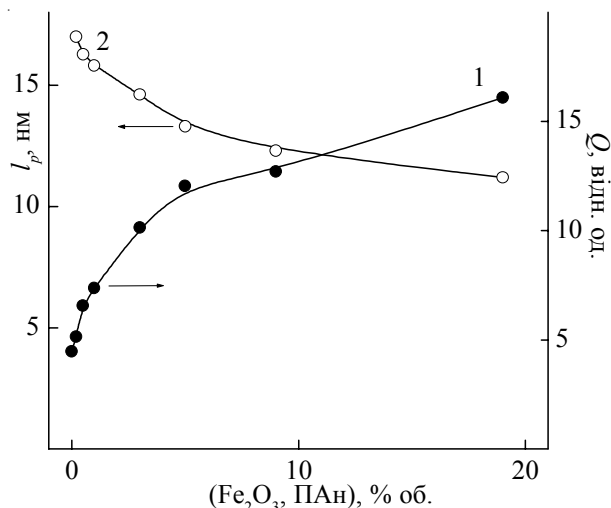


Рис. 8. Графічна залежність інваріанта Порода  $Q$  (1) та діапазону гетерогенності  $l_p$  (2) від концентрації суміші ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , ПАН) у композитах

рівня гетерогенності структури (інваріанта Порода  $Q$ ) композитів з ПАН і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  аналогічна залежності для композитів лише з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (рис. 4 і 8).

Таким чином, проведені дослідження мікрогетерогенного стану структури композитів на основі ЕС і одного з оксидів ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) або суміші ПАН і оксиду металу, взятих в однаковій кількості, показали істотну залежність від типу атомів металу в оксидах. Це знаходить відображення у величині ефективного розміру  $l_p$  мікрообластей гетерогенності, що формуються в об'ємі полімерної матриці сітчастої будови на початковому етапі її твердіння, та температури прояву сегментальної рухливості (переходу зі склоподібного у високоеластичний стан)  $T_c$  фрагментів міжвузлових молекулярних ланок полімерної сітки. Зокрема виявлено меншу абсолютну величину  $l_p$  і  $T_c$  у композитах з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  порівняно з композитами на основі  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  за однакової концентраційної залежності цих структурних параметрів. Вплив типу атомів металу в оксидах виявляється і в композитах, де в однаковій кількості з оксидом металу в композит вводився і ПАН. Якщо вплив ПАН на мікрогетерогенну структуру композитів з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відсутній, то у випадку з  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  він істотний, що знаходить відображення у зменшенні ефективного розміру  $l_p$  мікрообластей гетерогенності композитів більше ніж удвічі.

Керча Ю.Ю., Кузьмак Н.А., Чумикова Г.Н. // Укр. хім. журн. – 1998. – 64, № 9. – С. 68–72.

5. Греков А.П., Отрошко Г.В. // Композиц. полимер. материалы. – 1983. – Вып.19. – С. 47–50.

6. Штомпель В.И. Микрофазовая структура и свойства модифицированных уретансодержащих полимеров // Дис. ... докт. хім. наук (02.00.06). – Киев: ИХВС НАН Украины, 2003. – 309 с.

7. *Syohey Tamura*, Jpn. Patent 61-266435, 1985.
8. *Kratky O., Pilz I., Schmitz P.J.* // J. Colloid Interface Sci. – 1966. – **21**, N 1. – P. 24–34.
9. *Годовский Ю.К.* Теплофизические методы исследования полимеров. – М.: Химия, 1976. – 216 с.
10. *Ruland W.* // J. Appl. Cryst. – 1971. – **4**, N 1. – P. 70–73.
11. *Perret R., Ruland W.* // Kolloid Z. – Z. Polymere. – 1971. – В.247. – S. 835–843.
12. *Porod G.* // Small-angle x-ray scattering /Ed. by O.Glatte, O. Kratky. – London: Acad. Press, 1982. – P. 17–51.
13. *Азаров Л., Бургер М.* Метод порошка в рентгенографии. – М.: Изд-во иностр. л-ры, 1961. – 363 с.

Надійшла до редакції 28 березня 2008 р.

## Микрогетерогенная структура композитов на основе эпоксидной смолы и оксида Fe(III) или Al(III)

*В.И. Штомпель, В.Л. Демченко, В.А. Виленский, Ю.Ю. Керча*

Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины  
48, Харьковское шоссе, Киев, 02160, Украина

*Исследованная структура композитов на основе эпоксидной смолы ЭД-20 и одного из оксидов металлов ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) или смеси ПАН и одного оксида металла, взятых в одинаковом количестве. Установленная зависимость процессов структурообразования в композитах от типа атомов металла в оксидах. Показано, что при одинаковой концентрационной зависимости эффективного размера ( $l_p$ ) микрообластей гетерогенности, которые формируются в композитах, и температуры проявления сегментальной подвижности ( $T_g$ ) межузловых молекулярных звеньев полимерной матрицы, абсолютная величина этих структурных параметров значительно меньше в композитах с  $Al_2O_3$  по сравнению с композитами на основе  $Fe_2O_3$ . В композитах с ПАН структурные изменения выявлены только при использовании  $Fe_2O_3$ : величина  $l_p$  уменьшается в 2 раза по сравнению с композитами на основе оксида железа.*

## Microheterogeneous structure of composites on a basis epoxy resin and oxide Fe (III) or Al (III)

*V.I. Shtompel, V.L. Demchenko, V.O. Vilensky, Yu.Yu. Kercha*

Institute of Macromolecular Chemistry NAS of Ukraine  
48, Kharkivske shausse, Kyiv, 02160, Ukraine

*The structure of composites was investigated on a basis epoxy resin and one of metal oxides ( $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) or the blend PAN and one oxide of the metal, taken in identical quantity. The processes of structurization in composites were established as dependence from type of atoms of metal in oxides. It is shown, that under identical concentration dependence of the effective size  $l_p$  microareas of heterogeneity which are formed in composites, and temperatures of display of segmental mobility  $T_g$  of intercentral molecular links of a polymeric matrix, the absolute size of these structural parameters is considerably smaller in composites with  $Al_2O_3$ , comparing with composites on the basis of  $Fe_2O_3$ . The structural changes of composites with the Pan were revealed only under the usage  $Fe_2O_3$ : the  $l_p$  size becomes in 2 times smaller, comparing with iron oxide composites.*