

УДК 678.664:678.686:615.462

## Розробка та дослідження нових поліуретан-епоксидних композицій, що містять кремнійвмісні нанонаповнювачі та стрептоміцин

*Н.О. Горбунова, Р.А. Рожнова, Н.А. Галатенко, Є.Г. Левенець*

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

*Отримано нові поліуретан-епоксидні композиції, що містять аеросил, силікагель і стрептоміцин. Методами ІЧ-спектроскопії, ДСК і ТГА досліджено вплив неорганічних нанонаповнювачів на процеси структуроутворення. Встановлена залежність фізико-механічних і фізико-хімічних властивостей композитів від вмісту та природи нанонаповнювачів.*

**Ключові слова:** нанокompозитні матеріали, поліуретан-епоксидні композиції, силікагель, аеросил, стрептоміцин.

Необхідність створення і впровадження нових імплантаційних біологічно активних полімерних композиційних матеріалів з підвищеними фізико-механічними властивостями зумовлена збільшенням кількості хворих в Україні з туберкульозним ураженням кісткової тканини. Відомі біологічно активні матеріали для пластики кісткових тканин на основі макродіізоціанатів [1, 2] та епоксиполіуретанів (ЕПУ) [3-6], які призначені для використання як кісткові імпланти. Однак, враховуючи те, що зазначені матеріали не мають протитуберкульозних властивостей, актуальним залишається розробка нових біосумісних матеріалів з місцевою лікувальною протитуберкульозною дією, які мають високі фізико-механічні показники та здатні стимулювати процеси остеосинтезу.

Ефективним підходом до вирішення поставленого завдання є розробка нових композиційних матеріалів на ЕПУ основі шляхом введення до її складу нанорозмірних наповнювачів, здатних покращувати фізико-механічні властивості композиційного матеріалу, та лікарських речовин зі спрямованою біологічною активністю, оскільки відомо [7, 8], що ЕПУ композиційним матеріалам, які являють собою суміш епоксидної смоли з поліуретаном (ПУ) та епоксиполіуретановим кополімером, властиві підвищені фізико-механічні показники, можливість регулювання еластичності, великий робочий діапазон температур, стійкість до вібродинамічних навантажень і термоударів, значна робота руйнування та ударостійкість. Епоксидна складова зумовлює високі фізико-механічні показники, епоксиполіуретановий кополімер виконує роль компатибілізатора: зменшує міжфазний натяг, розмір фазорозділених структур і, таким чином, покращує фізико-механічні властивості. Наявність

поліуретану в композиції зумовлює її підвищену біосумісність [9].

Оскільки активні силанольні групи неорганічних наповнювачів в умовах імплантації можуть бути центрами кристалізації апатитової фази, сприяти утворенню активних центрів, збільшувати швидкість регенерації кісткової тканини і таким чином сприяти процесам остеосинтезу [10, 11], було доцільно ввести до полімерної основи кремнійвмісні нанорозмірні неорганічні наповнювачі - силікагель та аеросил марки А-175 для отримання нового композиційного матеріалу.

Для надання композиційному матеріалу лікувальних властивостей до його складу був введений стрептоміцин - антибіотик широкого спектра дії, який ефективний проти більшості грам-позитивних і грам-негативних бактерій, в тому числі і проти мікобактерій туберкульозу. За своєю активністю він належить до протитуберкульозних препаратів І ряду [12], що визначило його використання як біологічно активної речовини для іммобілізації на ЕПУ полімерному носії.

*Мета роботи* - розробка та дослідження нових наноструктурованих поліуретан-епоксидних полімерних матеріалів, які містять у своєму складі протитуберкульозний препарат стрептоміцин, і дослідження впливу неорганічних нанонаповнювачів на фізико-механічні властивості та процеси структуроутворення отриманих композитів.

*Матеріали і методи дослідження* - нанокompозити на основі ЕПУ основи, нанорозмірної неорганічної складової з різною питомою поверхнею та лікарської речовини - стрептоміцину.

Полімерну ЕПУ основу отримували синтезом поліуретану в середовищі епоксидного олігомеру марки

ЕД-20 ( $M_n = 420$ , епоксидне число - 21,6), на основі поліоксипропіленгліколю (ПОПГ  $M_n = 2000$ ), толуїлендіізоціанату 80/20 (ТДІ) та 1,4-бутандіолу (БД) (Merck). Співвідношення епоксидної і поліуретанової (ПУ) складової за масою становило 50:50.

Синтез проводили у три стадії:

1. Синтез макродіізоціанату (МДІ) на основі ПОПГ і ТДІ ( $NCO/OH = 2,2$ ;  $NCO_{\text{вкл}} - 7,2-7,8 \%$ ) (визначали титриметричним методом) [13].

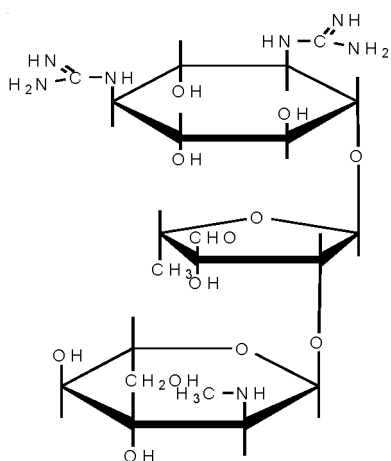
2. Синтез ЕПУ кополімеру проводили у середовищі епоксидного олігомеру ЕД-20, який використовували як розчинник і носій вторинних гідроксильних груп (вміст гідроксильних груп 1,5 %). Епоксидний олігомер сушили за залишкового тиску 1-3 мм рт. ст. і температури  $80 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  у потоці сухого аргону протягом 8 год. безпосередньо перед синтезом. У реактор з МДІ, обладнаний мішалкою, додавали епоксидну смолу, перемішували протягом 1 год. за температури  $70 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  для часткової взаємодії МДІ з ЕД-20. Кількість утвореного ЕПУ кополімеру становила 7-10 % мас. [14].

3. Синтез поліуретану (ПУ) в середовищі ЕД-20.

До суміші ЕД-20, ЕПУ і МДІ додавали подовжувач ланцюга - БД ( $n(NCO) : n(OH) = 7:8$ ). Синтез проводили за температури  $75 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом 2-3 год. до досягнення повної конверсії ізоціанатних груп.

Отримана ЕПУ основа являє собою суміш епоксидного олігомеру ЕД-20, ПУ і ЕПУ кополімеру.

Як лікарська речовина був використаний стрептоміцину трисульфат (Streptomycin-КМР фарм., Київмедпрепарат), який перед синтезом сушили до постійної маси за температури  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . Стрептоміцин - антибіотик широкого спектра дії, емпірична формула:  $C_{21}H_{39}N_7O_{12}$ . Структурна формула стрептоміцину:



Кількість введеного до складу полімерного носія стрептоміцину становила 1 % мас., що не перевищувало його фармакологічної дози [12].

Як нанонаповнювачі для отримання ряду композиційних матеріалів були використані аеросил марки

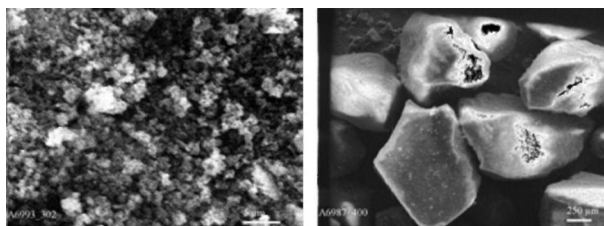


Рис.1. Агрегати силікагелю

A-175 (питома поверхня  $175 \text{ м}^2/\text{г}$ , розмір часток 10–40 нм) і силікагель (СГ), синтезований шляхом кислотного гідролізу і поліконденсації тетраоксисилану  $Si(OC_2H_5)_4$  за методикою, описаною в роботі [11]. Питома поверхня отриманого СГ була визначена БЕТ-методом низькотемпературної десорбції азоту і становила  $322 \text{ м}^2/\text{г}$ . Розмір часток 15 нм. Тонкопористий СГ (рис. 1) має значну частку внутрішньої поверхні, аеросил має тільки зовнішню поверхню [15].

Для отвердження ЕПУ основи використовували отверджувач епоксидної складової низькомолекулярну олігоаміноамідну смолу Л-20 ( $M_n = 830$ , А.Ч. =  $300 \pm 15$ , коефіцієнт стехіометрії = 2,77), що являє собою продукт взаємодії полімеризованих етерів лляної олії з поліетиленамінами. В процесі реакції твердження утворюється суцільна взаємопов'язана двофазова структура [7].

Для вивчення впливу неорганічних наповнювачів на фізико-механічні властивості та процеси структуроутворення готували полімерні композиції з вмістом неорганічного наповнювача 0; 0,6; 0,8; 1,0; 3,0 і 5,0 % мас. шляхом механічного перемішування ЕПУ основи та наповнювача протягом 10 хв. для рівномірного розподілу часток.

Фізико-механічні властивості отриманих композиційних матеріалів оцінювали на зразках, відлитих у формах з фторопласту. Міцність при розриві визначали за ГОСТ 14236 на модернізованій машині для випробування пластмас 2166 Р-5 за швидкості руху верхньої траверси 10 мм/хв. Адгезійні властивості оцінювали методом визначення міцності при відриві за ГОСТ 14760. Поверхню металевих грибоків перед випробуваннями обробляли за ГОСТ 2789. Твердість за Шором визначали відповідно до ГОСТ 24621.

Ефективну густину зшивання композиційних матеріалів визначали за методом рівноважного набрякання Флорі-Реннера [16].

Структуру отриманих композитів вивчали методом ІЧ-спектроскопії (ІЧ-спектрометр з Фур'є перетворенням „Tensor-37”). ІЧ-спектри знімали методом багаторазового порушеного повного внутрішнього відображення (БППВВ) з використанням призми-трапеції з KRS-5 (число відображень  $N = 4$ ), таблетованим з КВг в області  $650-4000 \text{ см}^{-1}$ . Віднесення смуг поглинання зроблено відповідно до [17, 18].

Вплив неорганічних наповнювачів на теплофізичні

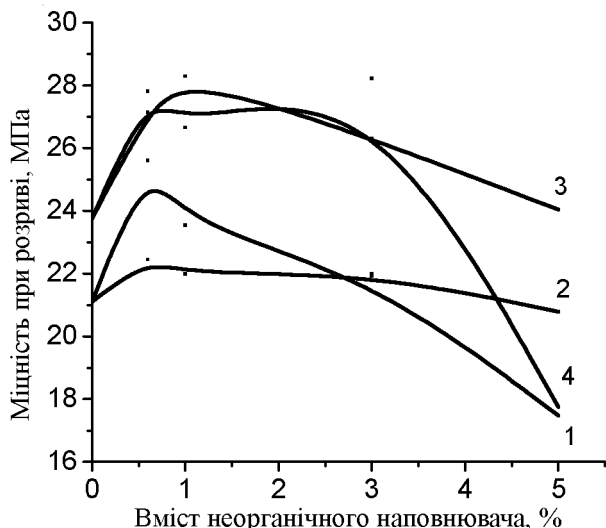


Рис. 2. Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів: ЕПУ-СГ - 1; ЕПУ-аеросил - 2; ЕПУ-СГ-стрептоміцин - 3 та ЕПУ-аеросил- стрептоміцин - 4

характеристики зразків ЕПУ композиційних матеріалів досліджували методами термогравіметричного аналізу (ТГА, модуль ТГА- TGA Q50) і диференціальної сканувальної калориметрії (ДСК) в інтервалі температур від -100 до +200 °С (модуль ДСК - DSC Q 2000).

### Результати та їх обговорення

Перспективними методами регулювання фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів є структурна модифікація полімерів, яку проводили шляхом введення в полімерну матрицю високодисперсних неорганічних нанонаповнювачів і лікарських речовин.

Відомо [19], що при отриманні епоксидних нанокомпозитів при наповненні композиту аеросилом спостерігається екстремальна залежність міцності від вмісту наповнювача, що може бути наслідком утворення за концентрації 0,5 % мас. суцільної армуючої сітки, яку формують суміжні масово-фрактальні агрегати. При подальшому збільшенні концентрації фізико-механічні показники знижуються, що може бути пов'язано з перерозподілом системи зв'язків, а також з утворенням дефектів на межі поділу фаз у результаті неповного змочування поверхні часток, з утворенням пустот і пор.

Оскільки властивості наповнених композиційних матеріалів залежать від хімічної природи полімерної основи і наповнювача, його концентрації, розміру частинок, питомої поверхні, а також від способу введення в полімерну матрицю [20], було доцільно дослідити вплив різних концентрацій кремнійвмісних неорганічних нанонаповнювачів на фізико-механічні властивості ЕПУ композиційних матеріалів.

При проведенні фізико-механічних досліджень було встановлено, що міцність ЕПУ композитів залежно від концентрації наповнювачів змінюється не лінійно (рис. 2).

Аеросил і силікагель у невеликих кількостях сприяють зростанню міцності ЕПУ композиту: за концентрації 0,6-0,8 % мас. спостерігається максимум міцності при розриві (25-28 МПа).

При одночасному введенні до епоксиполіуретану 1 % мас. стрептоміцину, силікагелю або аеросилу максимальна міцність на розрив спостерігається за концентрацій наповнювачів 1-3 % мас.

Подібні результати були отримані при вимірюваннях адгезійних властивостей. При введенні неорганічних наповнювачів спостерігається максимальне значення міцності на відрив за вмісту силікагелю або аеросилу від 0,6 до 1,0 % мас., а при введенні в композицію стрептоміцину (1 % мас.) максимальна міцність спостерігається за концентрацій неорганічних наповнювачів 2-3 % мас. (24-26 МПа).

Введення нанонаповнювачів практично не впливає на твердість за Шором усіх композиційних матеріалів, яка становить 90-95 од.

Отже, введенням аеросилу та силікагелю можна регулювати фізико-механічні властивості ЕПУ композиційних матеріалів. Найвищі фізико-механічні показники мають ЕПУ композиції, що містять у своєму складі 0,6-3,0 % наповнювачів.

Відомо, що наповнення полімерної матриці мінеральним наповнювачем впливає на механізм формування сітчастих полімерів [21, 22]. Вплив наповнювача виявляється в особливостях утворення структур сітки як поблизу поверхні, так і в об'ємі полімерної матриці. Наступне тверднення реакційноздатної олігомерної матриці може супроводжуватись утворенням хімічного зв'язку між полімером і наповнювачем, що істотно впливає на властивості затверділого композиційного матеріалу.

Аналіз результатів дослідження фізико-хімічних властивостей розроблених композиційних матеріалів методом рівноважного набрякання Флорі-Реннера показав, що введення до складу композиційного матеріалу силікагелю чи аеросилу в кількості 0,5-1,0 % мас. приводить до різкого збільшення ефективної густини зшивання композитів (майже у 1,5 рази) в порівнянні зі зразками ненаповненого ЕПУ (рис. 3). Різна залежність густини зшивання від вмісту неорганічного наповнювача може бути зумовлена різним характером поверхні силікагеля та аеросилу. Введення стрептоміцину приводить до збільшення ефективної густини зшивання у 2 рази, що пояснюється великою кількістю функціональних груп, що можуть взаємодіяти з полімерною основою з утворенням міжмолекулярних водневих зв'язків. Зазначений ефект може бути пояснений взаємодією полімеру з поверхнею твердого тіла (наповнювача), що приводить до обмеження рухомості полімерних ланцюгів, що, в свою чергу, еквівалентно утворенню додаткових фізичних вузлів полімерної сітки. Наявність границі поділу може привести як до збільшення середнього

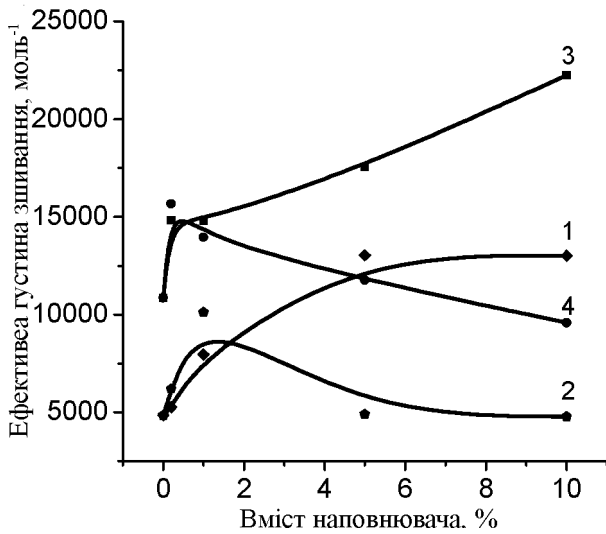


Рис. 3. Зміна величини ефективної густини зшивання залежно від вмісту і природи наповнювача за температури 30 °С: ЕПУ-СГ - 1; ЕПУ-аеросил - 2; ЕПУ-СГ-стрептоміцин - 3 та ЕПУ-аеросил-стрептоміцин - 4

числа фізичних вузлів сітки, так і до його зменшення внаслідок зменшення числа зв'язків типу полімер - полімер, а це, в свою чергу, впливає на фізико-механічні властивості композиційного матеріалу [23]. Отже, введення невеликих кількостей нанонаповнювачів до складу ЕПУ композиційних матеріалів приводить до зростання ефективної густини зшивання за рахунок утворення додаткових водневих зв'язків між

функціональними групами наповнювачів і полімерної матриці, що супроводжується одночасним підвищенням фізико-механічних показників.

Вплив неорганічних наповнювачів на теплофізичні характеристики зразків вивчали методами ТГА і ДСК. Досліджували зразки, які мають найвищі і найнижчі фізико-механічні показники (0,6 і 5,0 % мас. відповідно) (таблиця).

Аналіз отриманих даних для ЕПУ композицій з різним вмістом наповнювачів дав змогу встановити, що наявність аеросилу та силікагелю приводить до підвищення температури розкладу матеріалу (від 254 до 265 °С), що свідчить про наявність тенденції до підвищення термостабільності композиційних матеріалів. Спостерігаються зміни теплоємності ПУ та епоксидного компонентів сітки за температури склування. Значення температури склування ПУ компонента з підвищенням вмісту СГ збільшується від -56 до -50 °С. Значення температури склування епоксидного компонента за зростання вмісту СГ знижується від 73 до 60 °С. Введення стрептоміцину також приводить до незначного підвищення термостабільності зразків, що, ймовірно, відбувається за рахунок утворення додаткових водневих зв'язків і структурування композитів. При введенні наповнювачів спостерігається тенденція до появи додаткової температури склування, що найбільше виражено при додаванні силікагелю. Такі зміни можуть свідчити про взаємодію поверхні наповнювачів з полімерною основою з утворенням перехідного шару. Отже, нанонаповнювачі

Таблиця. Теплофізичні характеристики ЕПУ композиційних матеріалів

Зразки	Температура склування ( $T_g$ ), °С	Інтервал склування ( $\Delta T$ ), °С	Стрибок теплоємності при склуванні $\Delta C_p$ , Дж/(г·°С)	Температура початку розкладу ( $T_i$ ), °С	
					1
		73,3	27,01	0,255	
2	ЕПУ-0,6СГ	-52,32	11,72	0,1487	256,80
		54,77	11,65	0,1223	
3	ЕПУ-5СГ	-53,39	10,71	0,1373	259,77
		53,69	11,51	0,1375	
4	ЕПУ-0,6 аеросил	-51,54	11,96	0,1609	262,35
		60,86	33,49	0,323	
5	ЕПУ-5 аеросил	-50	12,79	0,1551	261,4
		67,52	27,08	0,2477	
6	ЕПУ- стрептоміцин	-50,52	13,42	0,1535	256,18
		60,5	34	0,2973	
7	ЕПУ-0,6СГ-стрептоміцин	-51,57	12,87	0,1632	261,07
		63,82	28,61	0,271	
8	ЕПУ-5СГ-стрептоміцин	-50,46	12,55	0,1411	263,53
		62,71	30,76	0,2523	
9	ЕПУ-0,6 аеросил-стрептоміцин	-51,03	14	0,1679	258,19
		66,04	28,49	0,2747	
10	ЕПУ-5 аеросил-стрептоміцин	-50,64	14,13	0,1643	265,11
		67,89	27,72	0,2567	

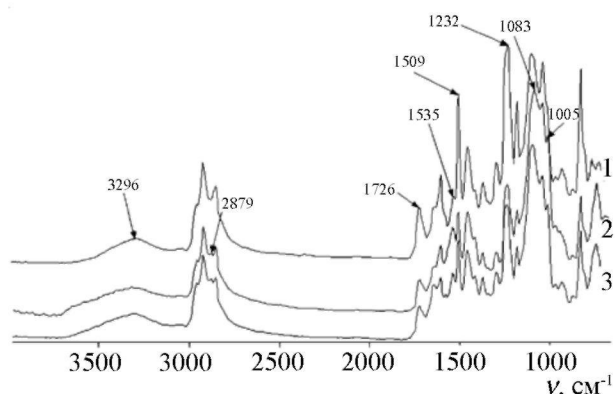


Рис. 4. ІЧ-спектри ЕПУ матриці і ЕПУ композицій з неорганічними наповнювачами: 1 - ЕПУ; 2 - ЕПУ-СГ і 3 - ЕПУ-аеросил

активно впливають на процеси структуроутворення композиційних матеріалів, про що свідчать зміни теплофізичних властивостей досліджених зразків.

Аналіз ІЧ-спектрів вихідної ЕПУ композиції і композицій, що містять силікагель і аеросил, (10 % мас.), (рис. 4, 5) показав, що при введенні наповнювачів відбуваються значні зміни у всій області спектра, а саме: спостерігається зниження інтенсивності смуги  $\nu_{\text{NH}}$  -  $3296 \text{ cm}^{-1}$ , але при цьому зростає її ширина. За наявності наповнювачів профілі смуг  $\nu$  коливань С-Н груп ( $2923$  і  $2854 \text{ cm}^{-1}$ ) зміщуються в напрямку нижчих частот у положення  $2917$  і  $2851 \text{ cm}^{-1}$ . З'являється нова смуга  $\nu$  коливань  $2879 \text{ cm}^{-1}$ . Відповідно змінюються і  $\delta$  коливання С-Н груп в області  $1350$ - $1480$  і  $600$ - $900 \text{ cm}^{-1}$ . Також зменшуються смуги валентних коливань уретанового фрагмента  $\nu_{\text{C=O}}$  -  $1726 \text{ cm}^{-1}$  і -  $1232 \text{ cm}^{-1}$ . При додаванні наповнювачів відбувся перерозподіл інтенсивності смуг  $\nu_{\text{NH}}$  у положеннях  $1535$  і  $1509 \text{ cm}^{-1}$ . Також зростає інтенсивність смуги  $1103 \text{ cm}^{-1}$  зі зміщенням її в положення  $1083 \text{ cm}^{-1}$ , з'являється нова смуга  $1005 \text{ cm}^{-1}$ . Ця область ( $1000$ - $1100 \text{ cm}^{-1}$ ) відповідає за  $\nu$  коливання С-О (простоефірної та спиртової груп). Зміни у спектрах при введенні до складу композицій СГ, аеросилу та стрептоміцину майже аналогічні. Такі зміни інтенсивності смуг у спектрах наповнених композитів вказують на те, що активні групи наповнювачів впливають на процеси структуроутворення ЕПУ матриці, викликають появу у полімерній основі зародків структуроутворення, які розташовуються на межі поділу між частинкою

## Література

1. Галатенко Н.А., Збанацкая Н.Л., Нечаева Л.Ю., Гриценко В.П. // Полімер. журн. - 2005. - 27, № 3. - С. 202-206.
2. Нечаева Л.Ю., Галатенко Н.А., Храмовский В.А. // Доп. НАН України. - 1994. - № 9. - С. 143-147.
3. Декл. пат. на корисну модель Україна № 13318, МПК С09К 3/32. Полімерний композиційний

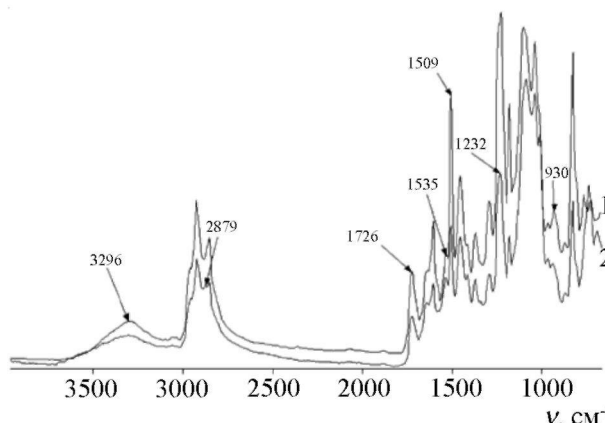


Рис. 5. ІЧ-спектри: 1 - ЕПУ та 2 - ЕПУ-стрептоміцин

і полімером. Поглиблення процесів структуроутворення відбувається переважно за рахунок утворення міжмолекулярних водневих зв'язків. При введенні стрептоміцину спостерігається зникнення смуги поглинання епоксидної групи в положенні  $930 \text{ cm}^{-1}$ , що може свідчити про каталітичний вплив стрептоміцину на процес тверднення ЕПУ композиції.

## Висновки

Розроблено ряд нових поліуретан-епоксидних композиційних матеріалів, що містять нанорозмірні аеросил і силікагель та протитуберкульозний препарат стрептоміцин. Встановлена залежність фізико-механічних (міцність при розриві, адгезійні властивості) та фізико-хімічних (ефективна густина зшивання) властивостей полімерних матеріалів від концентрації і природи введеного нанонаповнювача, визначені їх оптимальні концентрації (0,6-3,0 % мас.).

Методами ІЧ-спектрометрії, ТГА, ДСК і рівноважного набрякання Флорі-Реннера показано, що наявність на поверхні органічних і неорганічних наповнювачів активних груп, які можуть взаємодіяти з полімерною основою, впливає на процеси структуроутворення, сприяє формуванню специфічної структури з утворенням водневих зв'язків акцепторами і донорами протонів полімерного носія та наповнювачів, що впливає на морфологію і властивості ЕПУ композицій.

Отримані композиційні матеріали можуть бути використані в медицині як імплантати для лікування туберкульозних уражень кісткової тканини.

- матеріал для пластики кісткових тканин / Н.А. Галатенко, А.М. Куксін, О.О. Астапенко, Р.А. Рожнова. - Оpubл. 15.03.2006. - Бюл. № 3.
4. Пат. 79557 Україна, МПК<sup>8</sup> С2,С 08J 3/20. Спосіб одержання полімерного композиційного матеріалу / Куксін А.М., Галатенко Н.А., Рожнова Р.А., Астапенко О.О. - Оpubл. 25.06.2007. - Бюл. № 9.

5. Галатенко Н.А., Куксін А.М., Рожнова Р.А., Астапенко О.О. // Полімер. журн. - 2008. - **30**, № 2. - С. 169-173.
6. Галатенко Н.А., Куксін А.М., Рожнова Р.А., Астапенко О.О. // Доп. НАН України. - 2007. - № 3. - С. 142-148.
7. Мужев В.В., Лебедев Є.В., Нестеров А.Є., Куксін А.М. // Композиц. полімер. матеріали. - 2003. - **25**, № 2. - С. 95-101.
8. Mikheev V.V., Ivanova R.R. // Russian J. of Appl. Chem. - 2006. - **79**, № 2. - P. 310-313.
9. Липатова Т.Э., Пхакадзе Г.А. Полимеры в эндопротезировании. - К.: Наук. думка, 1983. - 160 с.
10. Вуинг-Но Yoon, Hyoun-Ee Kim, Hae-Won Kim // J. Mater. Sci.: Mater in Med. - 2008. - 19. - P. 2287-2292.
11. Cho S.B., Miyaji F., Kokubo T., Nakanishi K., Soga N., Nakamura T. // J. Mater. Sci.: Mater in Med. - 1998. - 9. - P. 279-284.
12. Машковский И.Д. Лекарственные средства. Ч.1. - 12-е издание. - М.: Медицина, 1998. - 736 с.
13. Сигиа С., Ханна Д.Г. Количественный анализ по функциональным группам. - Москва: Химия, 1983. - 671 с.
14. Файнерман А.Е., Лебедев Е.В., Куксин А.Н., Мужев В.В. // Укр. хим. журн. - 1990. - **56**, № 10. - С. 1110-1114.
15. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / Под ред. акад. А.А. Чуйко. - Киев: Наук. думка, 2003. - 414 с.
16. Flory P. Principles of Polymer Chemistry. - N.Y., 1953.
17. Беллами Л. Инфракрасные спектры молекул. - М.: Химия, 1957. - 444 с.
18. Преч Э., Бюльманн Ф., Аффолер К. Определение строения органических соединений. Таблицы спектральных данных: Пер. с англ. - М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. - 438 с.
19. Мишак В.Д., Семиног В.В., Гомза Ю.П., Несін С.Д., Кленко В.В. // Полімер. журн. - 2008. - **30**, № 2. - С. 146-153.
20. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. - М.: Химия, 1978. - 312 с.
21. Липатов Ю.С. Физико-химия наполненных полимеров. - Киев: Наук. думка, 1967. - 234 с.
22. Липатова Т.Э. Каталитическая полимеризация олигомеров и формирование полимерных сеток. - Киев: Наук. думка, 1974. - 208 с.
23. Куксин А.Н., Сергеева Л.М., Липатов Ю.С., Безрук Л.И. // Высокомолекуляр. соединения. Сер. А. - 1970. - **12**, № 10. - С. 2332-2337.

Надійшла до редакції 6 жовтня 2010 р.

Розробка та дослідження нових поліуретан-епоксидних композицій, що містять кремнійвмісні нанонаповнювачі

## **Разработка и изучение новых полиуретан-эпоксидных композиций, которые содержат кремнийсодержащие нанонаполнители и стрептомицин**

*Н.А. Горбунова, Р.А. Рожнова, Н.А. Галатенко, Е.Г. Левенец*

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

*Получены новые полиуретан-эпоксидные композиции, содержащие аэросил, силикагель и стрептомицин. Методами ИК-спектроскопии, ДСК и ТГА исследовано влияние неорганических нанонаполнителей на процессы структурообразования. Установлена зависимость физико-механических и физико-химических свойств композитов от содержания и природы нанонаполнителей.*

**Ключевые слова:** нанокomпозиционные материалы, полиуретан-эпоксидные композиции, силикагель, аэросил, стрептомицин.

## **Development and investigation of the new epoxy-polyurethane composites with nanofillers and streptomycin**

*N.O. Gorbunova, R.A. Rozhnova, N.A. Galatenko, E.G. Levenets*

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

*The new epoxy-polyurethane composites with nanofillers and streptomycin have been synthesized. The influence of the inorganic fillers on the processes of structurization, physicomachanical and physicochemical properties of composite materials has been investigated by the FTIR-spectroscopy, TGA and DSC methods.*

**Key words:** nanocomposite materials, epoxy-polyurethane composites, silica gel, aerosil, streptomycin.