

УДК678.686:678.01:537.63

Структура і фізичні властивості полімерних композитних матеріалів, сформованих у постійних магнітному та електричному полях

Ю.В. Бардадим, В.О. Віленський

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

Використання фізичної модифікації полімерних матеріалів дає змогу створювати композитні матеріали із заданим комплексом властивостей. Один із перспективних методів модифікації – вплив постійних магнітного і електричного полів на тверднення композиційних матеріалів, наповнених неорганічними наповнювачами. Для забезпечення задовільної адгезії між епоксидним полімером і неорганічним наповнювачем на поверхні останнього повинні бути групи, здатні до хімічної взаємодії з функціональними групами епоксидних зв'язуючих. Характерною особливістю поверхні оксидів металів є наявність покриву із гідроксильних груп, що відіграє значну роль при взаємодії наповнювачів з епоксидними смолами. Обрані наповнювачі мають характеризуватися високою міцністю, твердістю і добрим суміщенням з епоксидною матрицею.

Ключові слова: магнітне поле, електричне поле, поліепоксид, оксид металу.

Вступ.

Розвиток сучасного виробництва ставить ряд вимог до покращення фізико-механічних, теплофізичних, антикорозійних властивостей композитних матеріалів (КМ). Найчастіше для таких цілей використовують полімерні КМ на основі епоксидних зв'язуючих і полідисперсних наповнювачів. Такі матеріали відзначаються високими показниками експлуатаційних характеристик і розвинутою сировинною базою у межах України. З епоксидних олігомерів найчастіше використовують епоксидну діанову смолу ЕД-20, оскільки вона характеризується значною технологічністю, розвинутою сировинною базою та високими фізико-механічними властивостями, порівняно з іншими смолами [1]. Наявність покриву із гідроксильних груп – особливість поверхні неорганічних наповнювачів, таких як оксиди металів, відіграє головну роль при взаємодії наповнювачів з епоксидними смолами [2, 3]. Важливе у покращенні експлуатаційних характеристик епоксидних композитів визначення оптимальних режимів тверднення. Це дає змогу забезпечити високі когезійні характеристики КМ внаслідок формування ЗПШ у матриці з високим ступенем зшивання. Відомо, що у результаті тверднення утворюється матеріал, просторова сітка якого сформована з макромолекул, що хімічно зв'язані між собою, і характеризується, в основному, двома параметрами – молекулярною масою ланцюгів між вузлами сітки і температурою склування [4]. Вказані параметри визначають комплекс експлуатаційних і техно-

логічних характеристик сформованого композиту. Отже, для вивчення фізико-механічних процесів, які лежать в основі формування полімерних композитів при введенні наповнювачів, необхідно враховувати всю сукупність факторів, що впливають на структуроутворення композитів і їхні властивості у подальшому [5–7]. Останнім досягненням у галузі матеріалознавства для покращення фізико-хімічних властивостей стало використання фізичної модифікації полімерних матеріалів. Особливу увагу дослідників привертає обробка зовнішнім постійним магнітним або електричним полями полімерних матеріалів під час тверднення.

Полімерні неорганічні наповнювачі.

Введення дисперсних неорганічних наповнювачів у полімерні матеріали зумовлює появу різних видів хімічної та фізичної взаємодії, які виникають на межі розподілу фаз «полімер–наповнювач» [8, 9]. Природа цих явищ значно залежить від активності наповнювача, питомої площі його поверхні, співвідношення інгредієнтів, і істотно впливає на структуру КМ, його властивості та їх зміну у процесі експлуатації.

На сьогодні полімерні нанокompозити – один з найбільш перспективних типів конструкційних матеріалів. Існують три основних класи таких наноматеріалів: дисперснонаповнені, полімер/органоглина і полімер/вуглецеві нанотрубки (нановолокна). Хоч основні принципи їх опису однакові, спостерігаються дуже серйозні відмінності у структурі вказаних нанонаповнювачів у

полімерній матриці. Це досить істотно при детальному описі конкретного нанокompозиту, особливо у випадках процесів агрегації нанонаповнювачів. До цих пір основну увагу приділяли нанокompозитам, наповненим шаруватими силкатами (органоглиною) або нанотрубками (наповолокнами), тоді як дисперсно-наповнені нанокompозити вивчені набагато менше.

До наночастинок відносять частинки розміром від 1 до 100 нм. Основні відмінності їх від макро- і мікрокомпонентів полягають у величезній питомій поверхні розподілу наповнювач–матриця, у великій об'ємній частці міжфазної межі і малих середніх відстанях між частинками наповнювача. Авторами [10] було проведено аналіз впливу різних за природою нанокompозитних наповнювачів (аеросил, SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3) на структуру та властивості КМ на основі епоксидного полімеру (ЕП). Вплив наповнювачів визначається концентраційним складом, природою та особливостями взаємодії з полярними групами ЕП. Також було відмічено, що при збільшенні вмісту нанорозмірного наповнювача спостерігається зниження температури склування та збільшення коефіцієнта теплового розширення.

Введення наночастинок металів дає змогу отримати принципово нові матеріали з незвичними механічними та фізичними властивостями. Наприклад, металічні дисперсні наповнювачі покращують тепло- і електропровідність, магнітну сприйнятливість і теплоємність [11].

Також виділяють наповнювачі з розміром частинок у межах $n > 100 > n$. Такі матеріали називають мезокompозитами [12].

Для отримання КМ необхідна наявність термічно міцного і гідролітично стійкого зв'язку між поверхнею наповнювача та полімерною матрицею, що створює передумови для їх спільної дії [13]. Для забезпечення задовільної адгезії між ЕП і неорганічним наповнювачем на поверхні останнього повинні бути групи, здатні до хімічної взаємодії з функціональними групами епоксидних зв'язуючих. Характерною особливістю поверхні оксидів металів є наявність покриву з гідроксильних груп, що відіграє значну роль при взаємодії наповнювачів з епоксидними смолами [14, 15].

Наведемо деякі властивості поширених дисперсних неорганічних наповнювачів та їх зв'язок з властивостями наповнених полімерних матеріалів.

Оксид алюмінію використовують переважно як дисперсний наповнювач епоксидних і поліефірних смол. Композиції на його основі мають підвищені електричні характеристики, теплопровідність, хімічну стійкість, твердість і зносостійкість, а також знижений термічний коефіцієнт розширення [16].

Введення *оксиду берилію* в полімерні композиції використовують для отримання теплових трубок (теплопоглиначів), підвищення їхньої теплопровідності при малій зміні електричних показників [17, 18].

Оксид заліза використовують у невеликих кількос-

тях як пігмент червоного (оксид заліза (II, III)) кольору. Використання суміші цих оксидів металів дає змогу отримати композиції коричневого й проміжних кольорів – від червоного до чорного. Оксид заліза як наповнювач композицій підвищує їхню термостійкість. Гамма-модифікацію оксиду заліза вводять в термопластичні полімери, такі як поліпропілен, для підвищення щільності, твердості й жорсткості. Оксид заліза (II, III) застосовують у виробництві магнітних друкарських фарб і магнітних стрічок в електронній промисловості [19–21].

Оксид свинцю. Як мінеральні дисперсні наповнювачі спеціального призначення використовують два типи оксидів свинцю – оксид свинцю (II) (жовтий PbO) та оксид свинцю (III) (червоний Pb_3O_4). Їх вводять у композиції для підвищення щільності й отримання екрануючої здатності від жорстких випромінювань, що дає змогу використовувати такі полімерні композиції, наприклад, у виробництві екранів рентгенівських установок. Оксид свинцю (II, III) використовують при виготовленні розривних куль [22, 23].

Оксид магнію. При введенні його у термопластичні полімери спостерігали збільшення жорсткості, твердості й опору повзучості. Твердий прожарений оксид магнію використовують для підвищення тепловіддачі полімерних композицій. Його також застосовують як загусник поліефірних зв'язуючих для преміксів і прегрів [16].

Діоксид титану. Відомо дві модифікації – анатаз і рутил. Діоксид титану обох модифікацій широко застосовують у лакофарбовій промисловості як білий пігмент з високою покривоздатністю. При цьому найефективнішим виявляється рутил, який вводять у вінілові композиції до 50 мас. ч. Лакофарбові покриття на основі діоксиду титану мають підвищені жорсткість, тепло- та атмосферостійкість [24].

Оксид цинку можна використовувати як наповнювач і каталізатор у гумових сумішах і пластмасах. Так, пропілен, наповнений оксидом цинку (10 мас. ч.), має підвищену атмосферостійкість. Його застосування в композиціях на основі ненасичених поліефірів, поліолефінів, силосанових каучуків та ін., сприяє підвищенню їхньої твердості, теплостійкості й електропровідності [25–27].

Особливе зацікавлення для практичного застосування викликають *металосилкати*. Завдяки низькому коефіцієнту тертя ковзання використання муліту як наповнювача прес-композицій не потребує введення мастила. Введення силкату цирконію (ZrSiO_4 або $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$) сприяє покращенню електроізоляційних властивостей, стійкості до теплового старіння і теплових ударів, зменшенню поглинання води, етилового спирту й бензину, проникності пари та розчинників, усадок і розтріскування [28]. Його додавання в ненасичені поліефірні зв'язуючі прискорює процеси твердіння. У лакофарбових матеріалах його використовують як пігмент,

що зумовлює збереження високих показників експлуатаційних властивостей у процесі тривалої експлуатації (стійкість проти старіння) і стійкого забарвлення. Титанат барію (BaTiO_2) або $2 \text{BaO}_3 \cdot \text{TiO}_2$ широко застосовують в епоксидних компаундах електротехнічного призначення, які мають стабільні діелектричні властивості за високої діелектричної проникності й низьких діелектричних втрат [29–33].

У роботах [20, 21, 34–39] було досліджено структуру та властивості композитів, до складу яких входять такі наповнювачі як оксиди заліза та алюмінію. Ця робота продовжує дослідження зі створення та вивчення впливу природи оксидів металів на структуру та фізико-механічні властивості КМ. Як наповнювачі було обрано дисперсні оксиди металів: CdO , PbO і Cr_2O_3 , які характеризуються високою міцністю, твердістю і добрим суміщенням з епоксидною матрицею. Також було актуально дослідити вплив суміші наведених оксидів металів на структуру, теплофізичні та діелектричні характеристики при введенні їх у склад полімерних композитів.

Модель впливу постійного магнітного поля на полімерні композити.

Останні досягнення у галузі матеріалознавства дають змогу створювати композитні матеріали і системи із заданим комплексом властивостей. Це пов'язано з використанням різних методів модифікування матеріалів, зокрема, модифікування інгредієнтів полімерних композицій під час синтезу чи тверднення. Відомо, що полімерні композити під впливом вібраційних, ультразвукових, магнітних, електростатичних, електричних полів, а також внаслідок радіаційного та ультрафіолетового опромінення, істотно змінюють свої властивості, що дає змогу розглядати їх як новий клас матеріалів – модифіковані полімерні композити [34]. Варто зазначити, що обробка магнітним і електричним полями особливо перспективна.

На сьогодні відомо, що магнітні властивості речовин зумовлені спіновими й орбітальними магнітними моментами електронів, а також магнітними моментами ядер атомів. Для всіх металів спіновий магнітний момент відіграє важливу роль у створенні магнітного моменту атома, для чого повинні бути некомпенсовані магнітні моменти спінів. Це можливо у атомів з незаповненими оболонками, до яких належать елементи перехідних груп, рідкоземельні елементи та ін. Але наявність незаповнених орбіталей в атомі недостатня умова для існування феромагнетизму. Між спінами сусідніх атомів повинна існувати сильна електрична взаємодія квантово-механічної природи (обмінні сили). Це приводить до виникнення мимовільної намагніченості, коли магнітні моменти атомів орієнтуються в дуже малих об'ємах (доменах) у певному одному напрямку, наприклад у феромагнетиках, або в протилежних напрямках – у антиферомагнетиках [40].

Якщо зовнішнє магнітне поле відсутнє, то сумарний

магнітний момент речовини буде дорівнювати нулю. При накладанні магнітного поля кожний атом дає складову магнітного моменту за спрямуванням поля, і з'являється сумарний магнітний момент (M). Магнітний стан речовини характеризується величиною сумарного M , що належить до одиниці об'єму і називається намагніченістю. Між намагніченістю і зовнішнім магнітним полем є зв'язок [41, 42]:

$$I = \chi H, \quad (1)$$

де: χ – магнітна сприйнятливості. Середнє значення цієї величини розраховується за формулою:

$$\chi = \frac{1}{3}(\chi_1 + \chi_2 + \chi_3), \quad (2)$$

де: χ_1, χ_2, χ_3 – головні значення тензора сприйнятливості.

Ця величина для пара- і діаманетиків незначна (10^{-3} – 10^{-6}), причому у діаманетиків вона від'ємна ($\chi < 0$). Для феромагнетиків співвідношення (1) нелінійне, оскільки існує сильна залежність магнітної сприйнятливості від напруженості (H) магнітного поля, при цьому сприйнятливості цих речовин досягає великих величин (до 10^6).

Анізотропія діаманетичної сприйнятливості

($\Delta\chi = \lambda_3 - \frac{(\chi_1 + \chi_2)}{2}$) для полімерів зростає у міру

збільшення кількості ланок ланцюга макромолекули. Ароматичні молекули характеризуються більшою діаманетичною сприйнятливостю, зумовленою наявністю так званого «кільцевого струму». Наприклад, для бензолу ($10^{-6} \text{ мг}^3/\text{моль}$) $\chi_1 = \chi_2 = -34,9$; $\chi_3 = -94,6$, звідки $\Delta\chi = -59,7$. Для неароматичних молекул, у яких делокалізовані точки неможливі, сприйнятливості макромолекули вздовж її осі визначається адитивною системою Паскаля [43]:

$$\chi_3 = \sum \chi_i + \lambda, \quad (3)$$

де: χ_i – сприйнятливості окремого хімічного зв'язку; λ – поправковий коефіцієнт, що залежить від структури молекули. Тобто, $\chi_{C-C} = -4,0$; $\chi_{C-H} = -4,0$; $\chi_{O-H} = -4,7$; $\chi_{N-H} = -4,35$; $\chi_{O-C} = -4,0$.

Вплив однорідного постійного магнітного поля (ПМП) з $H = 4 \cdot 10^5 \text{ А/м}$ на орієнтацію молекул епоксидних олігомерів вивчали у роботі [44]. Була запропонована модель, згідно з якою молекули епоксидних олігомерів – лінійні з малим коефіцієнтом полімеризації (зазвичай $n = 0-2$), тому можна уявити їх у вигляді жорстких анізодіаметричних частинок, які в однорідному ПМП орієнтуються під дією результуючого обертального моменту:

$$M = M_1 + M_2, \quad (4)$$

$$M_1 = \frac{\Delta\chi}{2\mu_0} B^2 V \sin \varphi, \quad (5)$$

де: M_1 – величина моменту, який визначається наявністю структурної анізотропії магнітної сприйнятливості

молекули епоксидного олігомеру $\Delta\chi$, B – індукція магнітного поля; μ_0 – магнітна стала; V – об’єм частинки; φ – кут між вектором B і напрямком із найбільшою магнітною сприйнятливістю:

$$M_1 = \frac{\chi^2 (1-3Q)}{4\mu_0} B^2 V \sin \varphi, \quad (6)$$

де: M_2 – величина моменту, зумовленого геометричною формою частинки; χ – магнітна сприйнятливість епоксидного олігомеру; Q – розмагнічувальний фактор.

Величина, що характеризує реакцію середовища на дію зовнішнього магнітного поля, називається магнітною проникністю:

$$\mu = B/H, \quad (7)$$

де: μ – магнітна проникність; B – магнітна індукція; H – напруженість магнітного поля.

Встановлено, що епоксидна смола, піддана дії ПМП протягом 0,3 год, набуває своєрідного ефекту структурної пам’яті, який може бути використаний при створенні полімерних КМ на її основі.

Авторами роботи [45] показано, що дія магнітних полів приводить до зміни структури епоксидної смоли (ЕС) як на молекулярному, так і на надмолекулярному рівнях. Була запропонована модель, згідно з якою на магнітоанізотропну молекулу в однорідному ПМП діє орієнтувальний магнітний момент:

$$M_1 = \frac{\Delta\chi}{2\mu_0} B^2 V \sin 2\alpha, \quad (8)$$

де: $\Delta\chi$ – різниця магнітної сприйнятливості в паралельному і перпендикулярному напрямках до осі молекули; V – об’єм частинки; α – кут між напрямками осі молекули і поля; B – індукція магнітного поля; μ_0 – магнітна стала.

Очевидно, орієнтувальній дії перешкоджає тепловий рух. При цьому ступінь орієнтації для сукупності молекул визначається Больцманівським фактором $e^{-\beta}$, де β – величина, яка характеризує відношення енергії магнітного поля до теплової енергії і визначається:

$$\beta = \frac{\Delta\chi H^2}{2kT}, \quad (9)$$

де: H – напруженість магнітного поля; k – стала Больцмана; T – температура.

Розрахунок, проведений для макромолекул з віською симетрією на основі моделі жорсткого циліндра із планок, показав, що для макромолекул масою $M = 10^7$ може бути досягнута практично повна орієнтація у ПМП за $H = 2,4 \cdot 10^5$ А/м. Аналогічний розрахунок показує, що при кристалізації розплаву поліетилену в ПМП за $H = 10^5$ А/м, монокристали, що утворюються, виявляються практично стовідсотково орієнтованими вздовж силових ліній магнітного поля H з досягненням ними розмірів $1 \cdot 10^{-6}$ м [46, 47].

До слабких магнітних полів належать поля з

індукцією $B \leq 1$ Тл. Експериментальне спостереження ефектів, зумовлених дією таких полів, потребує здійснення вимірювань з похибками, що не перевищують значення $\mu_B \frac{B}{kT} \sim 10^{-3}$.

Тому перші спроби виявити вплив магнітного поля на фізико-механічні властивості і структуру матеріалу були невдалі. Вплив ПМП на радикальні реакції у розчинах вперше було встановлено в 1972 році. Бучаченко А.Л., Молін Ю.Н., Франкевич Е.Л. та ін. дослідники розширили коло досліджених матеріалів [48–50].

У результаті подальших досліджень було запропоновано теорію спін-залежних електронних процесів Каплана-Соломона-Мотта, яка після доповнення і на сьогодні вважається найдосконалішою. Вона базується на таких положеннях. Залежно від спінового стану у парах парамагнітних частинок, що утворюються в ході хімічних реакцій, відбувається зміна виходу продуктів реакції: час спін-решіткової релаксації більший за час переорієнтації спінів у магнітному полі та більший за час реакції в парі частинок. Останнє пояснює можливість дії магнітного поля, енергія якого $\mu H \ll kT$: парамагнітні частинки, що утворилися у ході реакції, реагують і зникають раніше, ніж встигає встановитися рівноважний тепловий розподіл частинок за спіновими станами [40].

Однорідне магнітне поле, діючи на процес твердіння ЕС, внаслідок наявності орієнтувального моменту сприяє виникненню впорядкованих утворень. У зразках ЕС, затверднених поліетиленполіаміном у ПМП з $H = 6,4 \cdot 10^5$ А/м, спостерігали зміщення температури склування від 359 до 370–371 К. Це підтверджує висновок про збільшення ступеня впорядкування структури в ЕС під дією однорідного магнітного поля. Неоднорідне магнітне поле приводить до розподілу анізотропних морфологічних утворень уздовж градієнта поля, сприяє зміні фізико-механічних властивостей матеріалу. Електронно-мікроскопічні дослідження показали, що в результаті дії неоднорідного магнітного поля розміри надмолекулярних утворень значно збільшуються. Ці утворення не мають чітко вираженої глобулярної форми. Під дією неоднорідного зовнішнього магнітного поля макромолекули орієнтуються і зміщуються вздовж його градієнта, утворюючи зшиті анізотропні структури, витягнуті перпендикулярно до напрямку силових ліній поля. Відповідно, в зоні найбільшої напруженості поля зростає густина [51].

При дослідженні впливу ПМП з $B = 0,2$ Тл на формування структури композитів на основі полівінілхлориду і вискодисперсних наповнювачів ванадію та Fe_3O_4 було показано [52], що ПМП впливає на процеси структуроутворення в гетерогенних полімерних системах, при цьому структурні зміни відбуваються саме в граничних шарах. Це дає можливість спрямовано регулювати їхні макровластивості. Обробка епоксикомпозитних матеріалів зовнішніми полями в процесі

формування покращує їхні характеристики внаслідок орієнтації ланцюгів макромолекул [37–39, 53–55].

Структура і фізико-механічні властивості полімерів та їх композитів, сформованих у постійних магнітних полях.

Можливість значних змін макрохарактеристик «немагнітних» речовин (пара- і діаманетиків) у слабких магнітних полях зовсім не очевидна і часто піддається сумніву, незважаючи на значну кількість публікацій, у яких описуються різноманітні магнітні ефекти в них [40].

Уперше дія ПМП на властивості діаманетичних полімерів була виявлена при виникненні електронного стану в поліметилметакрилаті, полівінілхлориді, полістиролі, поліетилені, полівініленфториді [56, 57]. Полімери нагрівали до температури високоеластичного стану, а потім охолоджували в однорідному ПМП з $H = (5–9) \cdot 10^5$ А/м. Після виймання з форм зразки виявилися зарядженими.

Відомо, що ПМП значною мірою впливає на деформаційні властивості полімерів. Автори роботи [58] вивчали дію однорідного магнітного поля ($B = 0–2$ Тл) на механічну поведінку композитів на основі рідкого силіконового каучуку та дисперсних наповнювачів – порошоків магнетиту і металічного заліза. Було показано, що в деяких випадках (для зразків зі значним вмістом магнітних частинок за великих значень B) магнітне поле практично фіксувало деформацію зразка. Модуль зсуву полімерного матеріалу за сталої напруженості магнітного поля залежить не тільки від концентрації магнітних частинок, а й від їхнього розміру.

Вплив магнітного поля на пружні характеристики матеріалів вивчали автори роботи [59]. Дослідження дії однорідного магнітного поля з $H = (58,1; 106,7; 135,3) \cdot 10^3$ А/м на пружні і в'язкі властивості магнітоеластиків показало, що найбільшого значення модуль Юнга досягає за напруженості магнітного поля $H = 135,3 \cdot 10^3$ А/м.

Під дією ПМП відбувається значне підвищення міцності поліетилену у напрямку дії поля. Так, межа міцності при розтягненні зразків поліетилену високої густини, сформованих за $H = 2,5 \cdot 10^6$ А/м, підвищується на 60 %, а поліетилену низької густини – на 50 %. Помічено, що максимальний ефект залежить від величини інтервалу кристалізації і H . Під впливом ПМП відбувається орієнтація поліетилену, що підтверджується змінами діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат [45, 60].

У роботі [61] досліджували композити на основі поліетилену високої густини, що містили феромагнітні наповнювачі, зокрема Fe_2O_3 , NiO , які були піддані дії ПМП ($H = 1,9 \cdot 10^5$ А/м) протягом 0,5 год. Було показано, що обробка композиційних матеріалів у ПМП приводить до збільшення питомого опору і діелектричної проникності композитів, що на думку авторів, пов'язано з поляризацією магнітної частинки, в результаті чого відбувається зміна фізичної структури композитів.

Авторами [62, 63] показано збільшення електропровідності епоксидної смоли до $10^{-3}–10^{-4}$ Ом·см при її модифікації порошком нікелю. Введення металічних порошоків надає електропровідних властивостей полімерним матеріалам. Завдяки такому наповненню в магнітному полі утворюється система, яка зберігається після тверднення полімеру.

Магнітна обробка матеріалів у багатьох випадках дає змогу впорядкувати структуру і значно збільшити міцність матеріалів. В огляді [53] наведено численні дані про зміну релаксаційних, механічних та інших властивостей полімерів після магнітної обробки у в'язкотекучому стані. Дослідження структури полімерів показало, що ПМП збільшує ступінь упорядкування молекул, зменшує розміри кристалітів і викликає анізотропію надмолекулярних утворень.

У роботі [54] вивчали наповнені композити на основі епоксидного полімеру та наповнювачів феромагнітної (червоний шлам), парамагнітної (B_4C , TiC) та діаманетичної (Al_2O_3 , SiC) природи, оброблені високочастотним магнітним полем із частотою 1–100 МГц і напруженістю 100 А/м, що дає змогу значно збільшити енергію взаємодії феро- та парамагнітних частинок наповнювача з макромолекулами зв'язуючого, що приводило до підвищення адгезійної міцності на 10–15 %.

При вивченні впливу однорідного зовнішнього постійного магнітного поля з $H = 4 \cdot 10^5$ А/м на структуру бінарних сумішей ацетобутирату целюлози (АБЦ) і поліетер- або поліестерного поліблокових поліуретанів з аморфними чи аморфно-кристалічними гнучкими блоками відповідно, було встановлено, що в результаті дії ПМП має місце зниження на 10–15 °С температури склування (T_g) компонентів сумішей та температури плавлення кристалів АБЦ і гнучких блоків поліестерного поліуретану. При цьому в об'ємі останнього відбувся перехід від α - до β -поліморфної форми кристалічної структури гнучко ланцюгових блоків. Разом з тим, дослідження показали, що виявлені структурні зміни у сумішах лінійних полімерів під дією ПМП через 12 місяців були значно меншими внаслідок релаксаційних процесів, які відбувалися у полімерах [64].

У зв'язку з цим було поставлено за мету провести дослідження структури та фізико-механічних властивостей композитів, сформованих під дією ПМП, на основі сітчастої будови та нанорозмірних порошоків оксидів діаманетичного або феромагнітного металів. У роботі [65] проведено дослідження впливу ПМП на полімерні композити, що містять епоксидний полімер та оксиди металів Al_2O_3 , Fe_2O_3 або їх сумішей із поліаніліном (ПАН). За результатами досліджень встановлено, що під впливом ПМП відбувається зменшення мікрообластей гетерогенності (l_p), які формуються безпосередньо на поверхні частинок наповнювача на початковому етапі твердіння полімерної матриці, полімерних систем на основі епоксидного полімеру й оксидів металів Al_2O_3 , Fe_2O_3 та частково зростає період ближнього

впорядкування фрагментів міжвузлових молекулярних ланок епоксидної смоли ЕД-20. Встановлені структурні перетворення композитів, сформованих під дією ПМП, приводять до підвищення їхніх термостійкості, тепло- й електропровідності. Показано, що внаслідок орієнтаційної дії ПМП, електропровідність композитів із сумішами ПАН з оксидами металів зростає на 2–4 порядки.

У роботах [37, 65] викладено генезу раніше невідомого явища для наповнених терморектопластів, якому автори дали назву «релаксаційна структура зшитих композитів, отриманих у результаті тверднення у постійних магнітному або електричному полях». Було висловлено думку про те, що регулювати властивості релаксаційної структури зшитого полімеру можна шляхом впливу на формування хімічної сітки поліепоксиду, за наявності оксидів металів та дії зовнішніх фізичних полів різної напруженості. Під їхнім впливом топологічна структура з системи хімічних і фізичних зв'язків між молекулами рідкої фази олігомеру та частинками дисперсних наповнювачів змінюється на структуру впорядковану – орієнтовану згідно з природою поля. При утворенні релаксаційної структури зшитого полімеру під дією електричного чи магнітного полів формується новий комплекс термодинамічних, теплофізичних, термомеханічних, фізико-механічних та інших властивостей.

У роботі [66] проведено системні дослідження для встановлення характеристик релаксаційної структури та її здатності відтворюватись після температурного і часового впливу. Було досліджено цикли «розширення ↔ стиснення» зразків ЕП і композитів з оксидами металів, у тому числі отверднених у постійних магнітному чи електричному полях шляхом «нагрівання ↔ охолодження» у температурному інтервалі 293–393 К. Встановлено, що величину лінійного розширення можна керувати в межах $(3-20) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Три послідовні цикли «нагрівання ↔ охолодження» показали, що зразки не втрачають пам'ять про вихідну структуру, а процеси часткового впорядкування комплексної структури «донорно-акцепторні групи ЕП – лігандні комплекси на основі оксидів металів» не впливають на відновлення релаксаційної структури навіть після 120 діб витримування зразків за температури навколишнього середовища.

Модель впливу постійного електричного поля на полімерні композити.

Значна кількість високомолекулярних сполук – це діелектрики. Основна їх особливість – це здатність до поляризації під дією зовнішнього електричного поля, тобто наявність дипольного моменту. Молекула має постійний дипольний момент, якщо центри розподілу позитивних і негативних зарядів зміщені один відносно одного. Такий диполь існує і за відсутності електричного поля та характеризується величиною дипольного моменту:

$$\mu = qd, \quad (10)$$

де: q – величина заряду; d – відстань між зарядами.

У постійному електричному полі (ПЕП) відбувається орієнтація дипольних молекул переважно в напрямку поля (при цьому потенціальна енергія диполя мінімальна) і сумарний електричний момент усіх диполів виявляється відмінним від нуля – утворюється так званий орієнтаційний момент (μ_{op}). Отже, в системі з'являється певна впорядкованість у розміщенні молекул таким чином, що в одному напрямку переважають негативно заряджені частинки, а в іншому – позитивно, тобто виникає стан поляризації [67].

Розрізняють поляризацію, яка виникає під дією зовнішнього постійного електричного поля, та спонтанну, що існує за відсутності поля. Хімічна будова визначає здатність полімеру до поляризації, а також механізм перебігу процесу. Тобто для неполярних полімерів, таких як поліетилен, поліпропілен, полістирол, характерна іонна поляризація, величина якої практично не залежить від частоти постійного електричного поля.

Поляризація високомолекулярних сполук залежить від кількості диполів в одиниці об'єму полімеру та взаємодії між макромолекулами [68].

Процес поляризації діелектрика має досить складний характер. Розрізняють різні види поляризації, але основні електронна, атомна, орієнтаційна.

Електронна поляризація найбільш загальна для всіх діелектриків. Тобто у будь-якому атомі електричне поле викликає зміщення електронів щодо позитивно зарядженого ядра. Поляризація має місце в результаті зміщення найбільш слабо пов'язаних (валентних) електронів в атомі або іоні, і зміщення іонів у молекулі. Якщо діелектрик складається з іонів, то відбувається зміщення позитивних іонів відносно негативних. Це відбувається досить швидко і становить приблизно 10^{-14} с.

Якщо деякий атом або іон перебуває під впливом електричного поля з напруженістю поля E , то електрони зміщуються проти поля, а ядро – за напрямком поля. Утворюється система з певним дипольним (індукованим) моментом.

Атомна поляризація. Зовнішнє електричне поле може також призводити до зміщення ядер атомів у молекулах або в кристалічній ґратці. Важкі ядра атомів менш рухливі, ніж електрони, і поляризація не може відбуватися за високих частот, як і електронна поляризація, тому вона спостерігається за частот не вище ІЧ-діапазона. Із даних коливальної спектроскопії відомо, що у молекулярних твердих тілах силові сталі для згинальних і крутильних коливань, завдяки яким змінюються кути зв'язків, зазвичай набагато менші за силові сталі для валентних (розтягуючих) коливань. Тому згинальні моди роблять основний внесок. Величина атомної поляризації зазвичай невелика і становить всього одну десяту від електронної поляризації. Але існують винятки, коли одна зі згинальних мод призводить до значного відхилення від симетричного розташування

центрів позитивних і негативних зарядів у молекулі. В іонних сполуках цей ефект може бути достатньо великим.

Орієнтаційна поляризація. Якщо молекули мають власний постійний дипольний момент, вони орієнтуються у зовнішньому полі, у результаті чого виникає поляризація у цьому напрямку. Швидкість орієнтації диполів залежить від міжмолекулярних взаємодій.

На сьогодні відсутня достатньо узагальнена молекулярно-кінетична теорія діелектричної поляризації полімерів, тому застосовуються наближені теорії [67, 69].

Вплив постійного електричного поля на структуру і фізико-механічні властивості полімерів та їх композитів.

У роботах [70, 71] досліджено вплив напруженості ПЕП від 0,03 до 12,5 кВ/м на морфологію плівок суміші поліетиленоксид–полістирол, отриманої осадженням із розчину в циклогексані. У результаті встановлено укрупнення доменів в об'ємі за $E = 0,03$ кВ/м. Автори пояснюють це ефектами коалесценції за наявності поля.

Вплив ПЕП напруженістю $E = 10^5$ В/м і термообробки на структуру та деякі фізичні характеристики ряду полімерів полівінілхлорид, поліакрилонітрил і їх кополімерів, що відрізняються полярністю і термодинамічною гнучкістю, було вивчено методом діелектричної релаксації [72]. Встановлено зростання діелектричної проникності плівок під впливом ПЕП. Це пояснюється тим, що ПЕП руйнує локальні електронейтральності фрагментів макроланцюгів. При цьому макромолекули набувають наведеного дипольного моменту, тобто додатково поляризуються під дією ПЕП. Відповідно збільшується також і ефективний дипольний момент ланцюгів макромолекули.

Автори роботи [73] вивчали діелектричні та термо-механічні властивості, а також густину аморфних полімерів на основі вінілхлориду, макроланцюги яких відрізнялися кількістю та розташуванням полярних груп, утворених атомом хлору з вуглецем основного ланцюга, в процесі їх відпалення в ПЕП з напруженістю $E = 100 \cdot 10^5$ В/м за температури на 10 К вищої за температуру склування протягом 1 год. Встановлено, що при відпаленні система наближається до стану термодинамічної рівноваги. Електричне поле гальмує процес і конформаційну зміну стану макромолекул. При відпаленні з ПЕП та без нього визначальними факторами зміни кінетичних характеристик полімеру є не кількість полярних груп у ланцюзі, а порядок їх розташування в ланках і пов'язана з цим жорсткість ланцюга. Отже, дія ПЕП затримує перебудову структури полімеру або вносить певні зміни у взаємне розташування бічних груп, конформацію, щільність упакування та взаємодію макромолекул.

Системне дослідження впливу ПЕП на структуру і властивості системи поліуретан–АБЦ виконали автори роботи [74]. Основним завданням було вивчити

вплив ПЕП з напруженістю $E = 64$ кВ/м на формування в композитах елементів дальнього порядку. У результаті було виявлено, що зразки аморфні за структурою і їхні максимуми розсіювання подібні. Це свідчить про те, що ПЕП не стимулює процеси формування дальнього порядку в упаковці макроланцюгів поліуретанів зі зв'язуючим агентом АБЦ.

У роботі показано, що під впливом ПЕП з $E = 0,60 \dots 0,90$ кВ/м у процесі полімеризації цианпаракасилену відбувається впорядкування структури електричних диполів. Внаслідок цього, за даними рентгеноструктурного аналізу, ступінь кристалічності ($X_{кр}$) для таких зразків полімерів більший, ніж для аналогічних, сформованих за н.у. Збільшення $X_{кр}$ було встановлено при поляризації макроланцюгів поліаміду (ПА) дією ПЕП напруженістю $E = 50 \dots 100$ кВ/см. Відомі дані про вплив на фазовий стан ПА-3 і ПА-6 з напруженістю $E = 3 \dots 4$ гВ/м [70]. Структуру цих поліамідів досліджували методами рентгеноструктурного аналізу, електронної дифракції, ІЧ-спектоскопії. Після поляризації ПА-3 в ПЕП за $T = 180$ °С рефлекс 010, характерний для фази II, зникає, а інтенсивність рефлексу 200 – зростає. Автори досліджень пов'язують таку зміну структури з переходом фази II в кристалічну форму, схожу на модифікацію ПА-6.

У роботах [75, 76] досліджено вплив напруженості ПЕП на зміну структури плівок полівініліденфториду (ПВДФ) за даними рентгеноструктурного аналізу та ІЧ-спектоскопії. Зменшення інтенсивності смуг частоти 511 см⁻¹ вказує на обертання макроланцюгів ПВДФ з диполями CF₂, які орієнтуються під дією електричного поля. Зростання інтенсивності смуги поглинання $\nu = 465$ см⁻¹ відображає тенденцію ланцюгів до руху в площині плівки цього полімеру під дією ПЕП. Зміна в ІЧ-спектрі ПВДФ в області частот поглинання $400\text{--}600$ см⁻¹ поляризованої плівки свідчить про поступовий перехід α -форми в β -форму кристалічної структури. Дія ПЕП позначається на зміні діелектричної проникності (ϵ') полімерних систем, що збільшується в процесі обробки зразків електричним полем за $E = 100$ кВ/см.

Автори роботи [76] дослідили діелектричні, термо-механічні властивості і густину атактичного полівілхлориду (ПВХ), макромолекули якого відрізнялися кількістю і розподіленням полярних груп, що утворюються атомом Cl і атомом вуглецю основного ланцюга, в процесі відпалювання в ПЕП за $E = 10^7$ В/м за $T > T_c$ на 10 К протягом 1 год. Встановлено, що ці полімери наближаються до стану термодинамічної рівноваги. Електричне поле гальмує цей процес, зокрема, змінює конформаційний стан макромолекул.

Недостатня кількість робіт з аналізу змін структури оксидовмісних нанокompозитів, сформованих під дією ПЕП, спонукало до проведення досліджень авторів [20, 21, 47, 65, 77]. Об'єктами були обрані епоксидні композити з наповнювачами Al₂O₃, Fe₂O₃ або їх сумішей із

поліаніліном (ПАН). Напруженість поля становила $E = 3 \cdot 10^4$ В/м. Ініційовані електричним полем поляризаційні процеси всіх структурних елементів епоксидного полімеру та дисперсних наповнювачів визначають формування структури і властивостей композитів. У результаті змінюється ефективний розмір мікрообластей гетерогенності композитів і відбувається зростання температури склування полімерної матриці на 7–10 К, незалежно від типу наповнювача, підвищення їхніх термостійкості, тепло- і електропровідності.

Отже, введенням у склад композитних матеріалів дисперсних неорганічних наповнювачів, що відрізняються природою та розміром частинок, можна

регулювати фізико-механічні властивості. Обробка постійними фізичними полями дає змогу без зміни хімічного складу конструкційних матеріалів програмовано впливати на їхню структуру і фізико-хімічні властивості. Також застосування ПМП і ПЕП дає змогу створювати композитні матеріали і системи із заданим комплексом властивостей. Недостатність літературних даних про механізм дії фізичних полів, структуру і фізичні властивості композиційних матеріалів, наповнених CdO, PbO і Cr_2O_3 , визначає актуальність проведення комплексних порівняльних досліджень таких матеріалів, сформованих за нормальних умов і під впливом постійних магнітного та електричного полів.

Література

1. Чернин И. З., Смахов Ф. Н., Жердев Ю. В. Эпоксидные полимеры и композиции. – М.: Химия, 1982. – 232 с.
2. Киселев В. Ф. Электронные явления в адсорбции и катализе на полупроводниках и диэлектриках. – М.: Наука, 1980. – 234 с.
3. Песчанская Н. Н., Синани А. Б. // Физика твердого тела. – 2008. – **50**, 1. – С. 177–181.
4. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. – М.: Научный мир, 2007. – 576 с.
5. Мишак В. Д., Семиног В. В., Гомза Ю. П., Несін С. Д., Клепко В. В. // Полімер. журн. – 2008. – **30**, № 2. – С. 146–153.
6. Віленський В. О., Глієва Г. С., Гончаренко Л. А. // Доп. НАН України. – 2005. – **10**. – С. 124–130.
7. Штомпель В. І., Віленський В. О., Демченко В. Л., Керча Ю. Ю., Рябов С. В. // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2012. – **10**, № 3. – С. 543–551.
8. Иванов С. В., Трачевський В. В., Тітова О. С., Столярова Н. В. // Вісник НАН України. – 2004. – **2**. – С. 126–128.
9. Суберляк О.В., Баитаник П. І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів. – Львів: Растр-7, 2007. – 376 с.
10. Сергеев Г. Б. // Успехи химии. – 2001. – **70**, № 10. – С. 915–930.
11. Козлов Г. В. // Успехи физ. наук. – 2015. – **185**, № 1. – С. 35–64.
12. Віленський В. О., Бардадим Ю. В., Давиденко В. В., Ткаліч М. Г., Рагуля А. В. // Наност. матер. – 2013. – № 3 – 4. – С. 34–35.
13. Козлов Г. В., Лупатов Ю. С. // Механика композитных материалов. – 2004. – **40**. – С. 827.
14. Лупатов Ю. С. Межфазные явления в полимерах. – К.: Наук. думка, 1980. – 260 с.
15. Hedden R. C., Bauer V. J. // Macromolecules. – 2003. – **36**, 6. – P. 1829–1835.
16. Sarkar S., Guibal E., Quignard F., SenGupta A. K. // J. Nanopart. Res. – 2012. – **14**, 715. – P. 1–24.
17. Zuo C., Li Q. // Progress in Natural Science. – 2011. – **21**. – PP. 455–459.
18. Трифонов А., Малыгин А. А., Дьяконова А. К. // Рос. хим. журн. – 2008. – **LI**, № 1. – С. 42–47.
19. Демчук В.Б., Колупаев Б.Б., Клепко В.В., Лебедев Е.В. // Физика и техника высоких давлений. – 2012. – **22**, № 2. – С. 95–109.
20. Демченко В. Л., Унрод В. І., Бененко С. П. // Вісник ЧДТУ. – 2010. – **2**. – С. 147–151.
21. Віленський В. О., Демченко В. Л. // Журн. фіз. досліджень. – 2010. – **14**, № 1. – С. 1401–1406.
22. Bealest T., Dineen C., Freeman W. // Supercond. Sci. Technol. – 1992. – **5**. – PP. 47–49.
23. Chen W., Gao W. // Progress in Natural Sci. – 2011. – **21**. – PP. 355–362.
24. Zeng H. C. // Current Opinion in Chem. Engin. – 2011. – **1**. – PP. 11–17.
25. Xu J., He Q., Shen H., Jin M., Lu B., Zhang Y., Wang Z. // Progress in Natural Sci. – 2011. – **21**. – PP. 363–367.
26. Sonawane B. K., Shelke V., Bhole M., Patil D. // J. of Phys. and Chem. of Solids – 2011. – **72**. – PP. 1442–1446.
27. Попов Ю. В., Григоренко А. Н., Пономарев В. А. // Сб. науч. трудов. – 2012. – **31**. – С. 155–159.
28. Gawande M. B., Shelke S. N., Branco P. S., Rathi A., Pandey R. K. // Appl. Organometal. Chem. – 2012. – **26**. – PP. 395–400.
29. Мостовой А. С., Плакунова Е. В., Панова Л. Г. // Пласт. массы. – 2012. – **3**. – С. 33–35.
30. Zhao Y., Liang Y., Zhao X., Jia Q., Li H. // Progress in Natural Sci. – 2011. – **21**. – PP. 330–335.
31. Khallaf H., Chen C., Chang L. // Applied Surface Sci. – 2012. – **258**. – PP. 6069–6074.
32. Ardestani M., Arabi H., Razavizadeh H. // Int. J. of Refractory Metals and Hard Materials. – 2010. – **28**. – PP. 383–387.
33. Курт С. А. Наповнювачі – синтез, властивості та використання. – Івано-Франківськ: Вид-во Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2012. – 296 с.
34. Демченко В. Л. // Полімер. журн. – 2009. – **31**, № 2. – С. 97–110.

35. Віленський В. О., Глієва Г. Є., Гончаренко Л. А. // Доп. НАН України. – 2005. – **10**. – С. 124–130.
36. Штомпель В. І., Віленський В. О., Демченко В. Л., Керча Ю. Ю., Рябов С. В. // Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. – 2012. – **10**, № 3. – С. 543–551.
37. Віленський В. О., Гончаренко Л. А., Глієва Г. Є., Овсянкін В. О. // Фізика конденсов. високомолекуляр. систем. – 2005. – **10**. – С. 10–16.
38. Віленський В. О., Демченко В. Л. // Вісник Київського ун-ту. – 2009. – **1**. – С. 227–232.
39. Віленський В. О., Демченко В. Л. // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – **45**, № 3. – С. 76–82.
40. Головин Ю. И. // Фізика твердого тела. – 2004. – **46**, В. 5. – С. 769–803.
41. Моргунов Р. Б. // Успехи физич. наук. 2004. – **174**, № 2. – С. 131–153.
42. Чечерников В. И. Магнитные измерения. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1969. – 260 с.
43. Chiriac A. P., Simionescu C. I. Magnetic field // Prog. Polym. Sci. – 2000. – **25**. – Р. 219–258.
44. Родин Ю. П., Молчанов Ю. М. // Механика композитных материалов. – 1982. – **6**. – С. 1056–1059.
45. Kim T., He L., Morales J. R., Beyermann W. P., Bardeen C. // Nanotechnology. – 2011. – **22**. – Р. 1–8.
46. Франкевич Е. Л. // Теорет. и эксперим. химия. – 1977. – **13**, № 5. – С. 690–693.
47. Демченко В. Л., Штомпель В. І., Рябов С. В., Унрод В. І. // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2013. – **4**. – С. 114–120.
48. Сагдеев Р. З., Лешина Т. В., Камха М. А., Шейн С. М., Молин Ю. Н. // Изв. АН СССР. Сер. Хим. – 1972. – **9**. – С. 2128–2129.
49. Соколик И. А., Франкевич Е. Л. // УНФ. – 1973. – **111**. – С. 261–288.
50. Зельдович Я. Б., Бучаченко А. Л., Франкевич Е. Л. // УНФ. – 1988. – **155**. – С. 3–45.
51. Воронежцев Ю. И., Гольдаде В. А., Пинчук Л. С. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов. – Минск: Наука и техника, 1990. – 262 с.
52. Сідлецький В. О., Колупаєв Б. С., Мащенко В. А. // Фізика конденсов. високомолекуляр. систем. – 2000. – **8**. – С. 42–43.
53. Родин Ю. П. // Механика композитных материалов. – 1991. – **3**. – С. 490–503.
54. Petrova I. // Polymer Testing. – 2005. – **24**, 8. – PP. 1036–1040.
55. Rodin Yu. P., Khorkov V. P. // Mech. Composite Mater. – 1994. – **30**, 6. – PP. 839–842.
56. Rodin Yu. P. // Mech. of Composite Materials. – 1991. – **27**, 1. 3. – PP. 331–341.
57. Hess B. C., Shinar V., Wudl F. // Synthetic Metals. – 1989. – **28**, N. 1. – Р. 311–316.
58. Абрамчук С. С., Гришин Д. А., Крамаренко Е. Ю. // Высокомолекуляр. соединения. Сер. А. – 2006. – **48**, № 2. – С. 245–253.
59. Никитин Л. В., Миронова Л. С., Степанов Г. В., Самусь А. Н. // Высокомолекуляр. соединения. Сер. А. – 2001. – **43**, № 4. – С. 698–706.
60. Алиева С. М., Акутина М. С. // Тр. Моск. химико-технол. ин-та им. Д. И. Менделеева. – 1975. – **86**. – С. 71–71.
61. Рамазанов М. А., Керимли С. Дж., Садыхов Р. З. // Пласт. массы. – 2005. – **10**. – С. 5–7.
62. Давиденко В. В., Мамуна Є. П., Лебедев С. В., Шут М. І. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2003. – **3**. – С. 78–83.
63. Тищенко Г. П., Банник Н. Г. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2003. – **3**. – С. 85–90.
64. Федоров В. В., Білий Л. М. // Вісник ТДТУ. – 2009. – **8**, № 3. – С. 406–412.
65. Демченко В. Л., Штомпель В. І., Віленський В. О., Керча Ю. Ю. // Полімер. журн. – 2008. – **30**, № 4. – С. 302–310.
66. Віленський В. О., Гончаренко Л. А., Демченко В. Л., Бардадим Ю. В. // Полімер. журн. – 2012. – **34**, № 2. – С. 168–179.
67. Фазовые процессы в гетерогенных полимерных системах / Под ред. Е. В. Лебедева. – К.: Наук. думка, 2012. – 432 с.
68. Cummings E. B., Griffiths S. K., Nilson R. H., Paul P. H. // Anal. Chem. – 2000. – **72**, 11. – Р. 2526–2532.
69. Блайт Э. Р., Блур Д. Электрические свойства полимеров. – М.: Физматлит, 2008. – 376 с.
70. Мащенко В. А., Колупаєв Б. С., Бордюк М. А., Рухляк Т. В. // Фізика конденсов. високомолекуляр. систем. – 1998. – **4**. – С. 9–12.
71. Venugopal G., Krause S., Wnek G. E. // Polymer. Prepr. Amer. Chem. Soc. – 1990. – **32**, № 1. – Р. 377–378.
72. Тонкоп'єва Л. С., Сиром'ятнікова В. Г. // Полімер. журн. – 2005. – **27**, № 4. – С. 249–254.
73. Нижник В. В., Токонієва Л. С., Мельник М. П. // Композиц. полімер. матеріали. – 1998. – **20**, № 1. – С. 69–73.
74. Овсянкін В. О., Віленський В. О., Керча Ю. Ю. // Доп. НАН України. – 2003. – **6**. – С. 147–151.
75. Zhou Q., Zhang Q., Zhang J. // Sci. in China. – 1998. – **41**, № 12. – Р. 1334–1339.
76. Нижник В. В., Токонієва Л. С., Мельник М. П. // Композиц. полімер. матеріали. – 1998. – **20**, № 1. – С. 69–73.
77. Віленський В. О., Демченко В. Л., Керча Ю. Ю. // Полімер. журн. – 2010. – **32**, № 4. – С. 321–327.

Надійшла до редакції 7 липня 2015 р.

Структура и физические свойства полимерных композитных материалов, сформированных в постоянных магнитном и электрическом полях

Ю.В. Бардадим, В.А. Виленский

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

Последним достижением в области материаловедения для улучшения физико-химических свойств стало использование физической модификации полимерных материалов. Это позволяет создавать композитные материалы с заданным комплексом свойств. Один из перспективных методов является обработка постоянными магнитным и электрическим полем на отверждение композиционных материалов, наполненных неорганическими наполнителями. Для обеспечения удовлетворительной адгезии между эпоксидным полимером и неорганическим наполнителем на поверхности последнего должны быть группы, способные к химическому взаимодействию с функциональными группами эпоксидных связующих. Характерной особенностью поверхности оксидов металлов является наличие покрова из гидроксильных групп, что играет значительную роль при взаимодействии наполнителей с эпоксидными смолами. Избранные наполнители характеризуются высокой прочностью, твердостью и хорошим совмещением с эпоксидной матрицей.

Ключевые слова: магнитное поле, электрическое поле, полиэпоксид, оксид металла.

The structure and physical properties of polymeric composite materials, cured in constant magnetic, electric fields

Y.V. Bardadym, V.O. Vilensky

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

The latest achievement in the field of material science to improve the physical and chemical properties is the use of physical modification of polymeric materials. This allows you to create composite materials with a given set of properties. One of the promising methods of influence of constant magnetic and electric fields on curing composites filled with inorganic fillers. To ensure satisfactory adhesion between the epoxy resin and inorganic filler on the surface of the latter group should be capable of chemical interaction with the functional groups of epoxy binders. A characteristic feature of the surface of metal oxides is the presence of hydroxyl groups cover that plays a significant role in the interaction with fillers epoxy resins. Selected fillers are characterized by high strength, hardness and good alignment with epoxy matrix.

Keywords: magnetic field, electric field, polyepoxy, metal oxide.