

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАЛОНАНОКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ

Б.Б. Колупаєв, В.В. Левчук, Ю.Р. Максимцев, Б.С. Колупаєв

*Рівненський державний гуманітарний університет, 33028, м. Рівне, вул. Остафова, 31,
Boris_Kolupaev@ukr.net*

В роботі представлені результати досліджень в'язкопружних властивостей полівінілхлоридних (ПВХ) композитів з нанорозмірним наповнювачем (Cu) при поздовжній, поперечній, об'ємній деформаціях на частоті 0,4 МГц в широкій області температур і вмісту інгредієнта. Вказані шляхи направленої регулювання специфіки поведінки і використання ПВХ-систем при динамічних та теплових навантаженнях.

Вступ

Одним з найбільш надійних способів визначення в'язкопружних характеристик аморфних полімерів і гетерогенних полімерних систем (ГПС) на їх основі є вимірювання швидкості поширення та поглинання ультразвуку (УЗ) [1]. Це також дозволяє вивчити структуру ГПС, оскільки «прямі» структурночутливі методи не дають достатньої інформації [2]. Однак число досліджень ГПС в мегагерцовому діапазоні частот недостатнє. Особливо це стосується визначення дійсних і уявних частин модулів Юнга, зсуву, об'ємної деформації металонаноккомпозитів. Відповідно, мета роботи – на основі моделі динаміки закріпленої макромолекули, дослідити вплив металевого нанодисперсного наповнювача, температури на структурні параметри та в'язкопружні властивості ПВХ-систем, які зазнали дії поздовжньої, поперечної деформації УЗ-полем, а також вказати температурно-частотний діапазон їх практичного використання.

Експериментальна частина

ГПС отримували в $T - p$ режимі на основі ПВХ марки С-6359-М, що містить як наповнювач нанодисперсний порошок міді (Cu), синтезований в два етапи [3]. На першому етапі в УЗ-полі хімічним методом здійснювали відновлення металу з солі з наступним промиванням колоїдної системи. Таким чином отримали металевий осад з розмірами частинок $\varnothing \leq 100$ нм. На другому – суспензію поміщали в реактор і пропускали змінний електричний струм. Вибрана напруга певної частоти забезпечувала виникнення між електродами періодичних електричних розрядів, які викликали електроерозійне подрібнення і електрогідралічне руйнування агломератів дисперсного металу. Подальше перемішування суспензії проводили УЗ-полем, що забезпечувало однорідність системи і утворення наночастинок міді до 35 ± 1 нм. Об'ємний вміст наповнювача в ПВХ варіювали в діапазоні $0 < \varphi \leq 0,5$ % об. $T - p$ режим здійснювали при $T=403$ К і $P=10,0$ МПа.

Дослідження швидкості поширення поздовжньої (v_l) і поперечної (v_t) УЗ-хвиль, а також відповідні їм коефіцієнти затухання (α_l , α_t), проводили на частоті $\omega=0,4$ МГц з допомогою експериментальної ультразвукової установки [4]. З використанням диференціальної кювети імпульсним методом за одне вимірювання визначали величини v_l , v_t , α_l , α_t в області $298 \text{ K} \leq T \leq T_g + 10 \text{ K}$, де T_g – температура склування ГПС. Контактним середовищем слугувало силіконове масло марки ПФМС-4.

При цьому величини v_l , v_t , α_l , α_t в ГПС розраховували згідно співвідношень:

$$v_l = \frac{v_p d}{d \pm \Delta \tau_l v_p}, \quad (1)$$

$$v_t = \frac{v_p d}{\sqrt{d^2 + (\Delta \tau_l v_p)^2 - 2d\Delta \tau_l v_p \cos \alpha}}, \quad (2)$$

$$\alpha_{l,t} = \frac{1}{d} \ln \frac{A_0}{A_{l,t}}. \quad (3)$$

де d – товщина зразка; v_p – швидкість поширення ультразвукової хвилі в імерсійній рідині при температурі дослідження; $\Delta \tau_{l,t}$ – час проходження ультразвукового сигналу через досліджуваний зразок, виміряний вимірником часових інтервалів; α – кут повороту зразка, A_0 – амплітуда ультразвукової хвилі в імерсійній рідині, $A_{l,t}$ – амплітуда поздовжньої (поперечної) УЗ-хвилі після проходження через зразок. За відомими значеннями v_l , v_t , α_l і α_t дійсні і уявні частини модулів Юнга (E' , E''), зсуву (μ' , μ'') та об'ємної деформації (k' , k'') ГПС визначали за співвідношеннями

$$E' = k' + \frac{4}{3} \mu' = \rho v_l^2 \frac{1 - \left(\frac{\alpha_l v_l}{\omega}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{\alpha_l v_l}{\omega}\right)^2\right]^2}, \quad (4)$$

$$E'' = k'' + \frac{4}{3} \mu'' = \rho v_l^2 \frac{2 \frac{\alpha_l v_l}{\omega}}{\left[1 + \left(\frac{\alpha_l v_l}{\omega}\right)^2\right]^2}, \quad (5)$$

$$\mu' = \frac{\rho v_l^2 \left(1 - \frac{\alpha_l^2 v_l^2}{\omega^2}\right)}{\left(1 + \frac{\alpha_l^2 v_l^2}{\omega^2}\right)^2}, \quad (6)$$

$$\mu'' = \frac{\frac{2 \alpha_l v_l}{\omega} \rho v_l^2}{\left(1 + \frac{\alpha_l^2 v_l^2}{\omega^2}\right)^2}, \quad (7)$$

Похибка вимірювання швидкостей відповідно складала 0,5 – 1,0 %, а коефіцієнтів поглинання – 8,0%. Густина зразків (ρ) визначали методом гідростатичного зважування [4] з точністю 0,2%.

Модель

В ПВХ С-6359-М, як типовому представнику аморфних полімерів, можуть існувати лише флукуатаційні структурні елементи (мікроблоки [5]) з кінцевим часом

життя $\tau_{2,i}$. При тривалому усередненні в часі макромолекули ПВХ мають конформацію незбурених клубків і при $\tau_{2,i} \gg t_0$ (де t_0 – період УЗ-коливань), а також $298 \leq T \leq T_g + 10K$, проявляють різні форми рухливості елементів структури тіла. На цій підставі ПВХ-системам ставимо у відповідність релаксаційний спектр як і для окремої макромолекули [6]. При цьому загальний час життя структурного елемента ($\tau_s = \tau_{1,s} + \tau_{2,s}$), де $\tau_{1,0}$ – час осілого життя морфози в коливному режимі. Величина τ_i в досліджуваному діапазоні температур і частоти, згідно принципу температурно-часової еквівалентності (ТЧЕ) [4], дозволяє фіксувати як пружний, так і непружний відгуки системи на дію УЗ-поля. Встановлено, що залежність $\tau_i(T)$ можна представити у вигляді [6]:

$$\tau_i(T) = \tau_0 \exp(-\delta S/k) \exp(-\delta H/kT), \quad (8)$$

однак в області T_g -дисперсії співвідношення (8) не виконується [7], а справджується рівняння Вільямса–Ландела–Феррі [8].

З формули (8) і рівняння Вільямса–Ландела–Феррі випливає, що змінюючи T при $\omega = 0,4$ МГц вдається дослідити температурні діапазони релаксаційних станів ПВХ-систем. Крім цього, встановлено [4], що з допомогою інгредієнтів можна направлено змінювати розподіл структурних елементів по величині τ_i , тобто зміщувати релаксаційний спектр по шкалі $\ln \tau_i - T^{-1}$, визначаючи, таким чином, температурний діапазон працездатності і змін властивостей композита. При цьому нерозв'язаним залишається питання щодо природи сил взаємодії компонентів на межі поділу фаз полімер–метал та топології структуроутворень в ГПС. В першу чергу це проявляється в зміні величини ефективних модулів композита, які розраховують згідно мікромеханічної теорії [4]. Характерно, що знаючи константи Ламе ($\lambda_i, \mu_i; i = 1,2$) полімерної матриці і наповнювача, можна визначити тип топології упакування частинок нанодисперсного металу, зокрема:

гексагональна:

$$E = 10.25\mu_0\psi(\varphi); \mu = 4.8\mu_0\psi(\varphi); k = 4\mu_0\psi(\varphi), \quad (9)$$

проста кубічна:

$$E = 14.4\mu_0\psi(\varphi); \mu = 6.75\mu_0\psi(\varphi); k = 5.625\mu_0\psi(\varphi), \quad (10)$$

де $\psi(\varphi) = \frac{\pi}{16\sqrt{2}} \frac{\varphi^{2/3}}{0,981(0,981 - \varphi^{1/3})}$. Якщо при цьому враховувати наявність міжфазного шару (МШ), то діє ефективні значення модулів ГПС складають величину

$$E = 18,5\mu_0\psi(\varphi); \mu = 8,64\mu_0\psi(\varphi); k = 7,2\mu_0\psi(\varphi), \quad (11)$$

де $\psi(\varphi) = \frac{\pi}{16\sqrt{2}} \cdot \frac{\varphi^{2/3}}{1 - \varphi^{1/3}}$.

Оскільки ГПС є мікронеоднорідним середовищем, пропонують [7] розраховувати ефективні значення модулів також методом самоузгодженого поля. В цьому випадку відносна зміна величини ефективного модуля пружності пропорційна об'ємній концентрації наповнювача, тобто:

$$\frac{|\Delta E|}{E} = \frac{|E - E_1|}{E} = \varphi D, \quad (12)$$

$$\text{де } E = \lambda + 2\mu = \frac{\lambda_1 + 2\mu_1}{1 - \varphi D}; \quad D = \frac{\lambda_2 + \frac{2}{3}\mu_2 - \lambda_1 - \frac{2}{3}\mu_1}{\frac{4}{3}\mu_1 + \lambda_2 + \frac{2}{3}\mu_2} + \frac{20(\mu_2 - \mu_1)}{2\frac{\mu_2}{\mu_1}(3\lambda_1 + 8\mu_1) + (9\lambda_1 + 14\mu_1)}$$

На основі співвідношення (12) можна розрахувати величину акустичного опору ГПС

$$\rho v = \rho_1 v_1 \left[\frac{1 + \varphi(\rho_2/\rho_1 - 1)}{1 - \varphi D} \right]^{1/2}. \quad (13)$$

Аналіз отриманих результатів дозволяє використати ПВХ-композит як демпфер і узгоджуючу проміжну систему в п'єзоелектричних випромінювачах генераторів і/або приймачів УЗ-коливачів.

Результати та їх обговорення

На рис. 1а представлені температурні залежності дійсної частини модулів Юнга, зсуву і об'ємної деформації ПВХ-систем. Характерно, що для всіх композитів в діапазоні $298\text{K} \leq T \leq 353\text{K}$ спостерігається нелінійна зміна в'язкопружних властивостей матеріалу. При цьому механізм деформаційного процесу при зсуві, розтягу–стиску різний. Так, для вихідного ПВХ β -релаксація охоплює температурну область $308\text{K} \leq T \leq 328\text{K}$ в випадку поздовжньої і об'ємної деформації, але не проявляється при деформації зсуву. Очевидно, це обумовлено значними відмінностями в величин енергії між- і внутрішньомолекулярної взаємодії елементів структури ПВХ [2]. Однак в ГПС наявний β -перехід при вмісті нанодисперсної міді в діапазоні $0 \leq \varphi \leq 0,5$ об. % для різних видів деформації матеріалу.

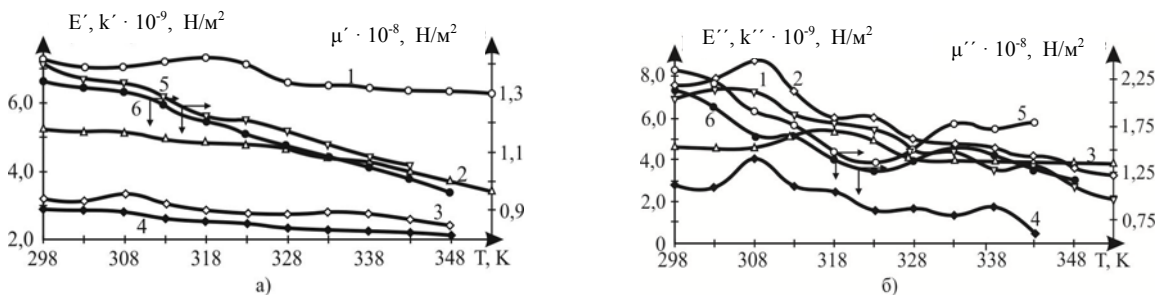


Рис. 1. Температурні залежності динамічних модулів ПВХ-систем, які містять нанодисперсні частинки міді: а) E' (1, 2), μ' (5, 6), k' (3, 4), 1 – ПВХ, 2 – ПВХ+0,3 % об. Cu, 3 – ПВХ+1,0 % об. Cu, 4 – ПВХ+0,2 % об. Cu, 5 – ПВХ+0,15 % об. Cu, 6 – ПВХ+0,5 % об. Cu, б) E'' (1, 2), μ'' (5, 6), k'' (3, 4), 1 – ПВХ+0,5 % об. Cu, 2 – ПВХ+0,15 % об. Cu, 3 – ПВХ, 4 – ПВХ+0,5 % об. Cu, 5 – ПВХ+0,2 % об. Cu, 6 – ПВХ+0,3 % об. Cu.

На рис. 1б представлені результати температурної залежності уявних частин модулів Юнга, зсуву і об'ємної деформації ПВХ-систем. Характерно, що при $\varphi \leq 1,0$ об.% Cu спостерігається зміщення β -переходу в область більш високих температур. При $298\text{K} \leq T \leq T_g$, через незначні зміни величини ентропії системи, вираз (8) набуває виду

$$\tau_i(T) \approx \tau_0 \exp(U/kT), \quad (14)$$

що дозволяє розрахувати значення величини U . Виявилось, що для вихідного ПВХ при $T=298$ К величина енергії активації β -процесу становить $3,1 \cdot 10^{-20}$ Дж, для систем ПВХ+0,1 % об. Cu $U = 5,2 \cdot 10^{-20}$ Дж, а τ_i (298 К) відповідно – $5,4 \cdot 10^{-9}$ с і $2,2 \cdot 10^{-6}$ с.

Оскільки на структурний елемент в ПВХ і ГПС на його основі діє напруга УЗ-поля [9]

$$\sigma_s = \sigma_0 \exp[-\alpha_i x] \exp\left[j\omega\left(t - \frac{x}{v_i}\right)\right], \quad (15)$$

визначимо коефіцієнт дисипації у вигляді [9]:

$$\alpha_i = \frac{\omega}{2\pi v_i} \frac{L8E(\mu)}{\pi^2 m} \frac{\omega d}{\left[(\omega_0^2 - \omega^2) + (\omega d)^2\right]}, \quad (16)$$

де $j = \sqrt{-1}$, $i = l, t$, L – загальна довжина кінетичних елементів, що приймають участь в дисипації енергії; m – маса структурного елемента одиниці довжини; ω_0 – резонансна частота; d – відношення демпфуючої сили на одиницю довжини до відповідної маси.

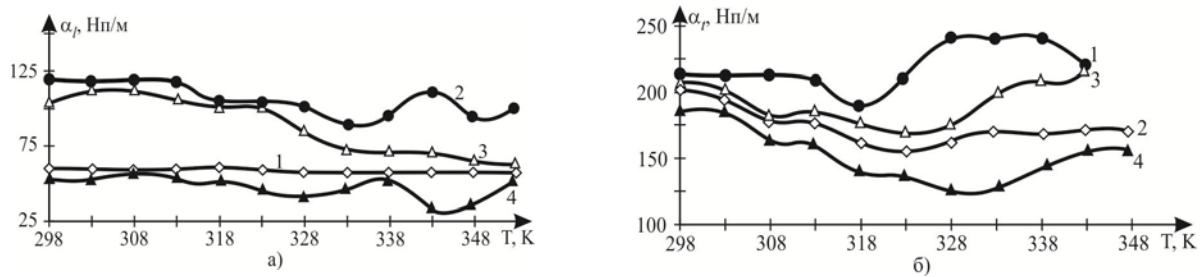


Рис. 2. Температурні залежності коефіцієнту дисипації енергії поздовжніх (α_l) та поперечних (α_t) УЗ-хвиль для ПВХ-систем, які містять нанодисперсні частинки міді: а) (α_l): 1 – ПВХ, 2 – ПВХ+0,1 % об. Cu, 3 – ПВХ+0,2 % об. Cu, 4 – ПВХ + 0,5 % об. Cu, б): (α_t) 1 – ПВХ+0,05 % об. Cu, 2 – ПВХ+0,15 % об. Cu, 3 – ПВХ+0,3 % об. Cu, 4 – ПВХ+1,0 % об. Cu.

Криві залежності величини α_l від температури для ПВХ-систем при $0 \leq \varphi \leq 1,0$ % об. нанодисперсних порошоків міді (Cu) представлені на рис. 2а. Характерно, що у випадку ПВХ змінюється величина дисипації енергії у всьому діапазоні температур ($298 \text{ K} \leq T \leq 353 \text{ K}$) з характерним максимумом α_l при $298 \leq T \leq 308 \text{ K}$. Згідно з класифікацією температурних переходів в аморфних полімерах [10], це відповідає γ -релаксаційному процесу, за реалізацію якого відповідають кінетичні елементи бокових груп ПВХ. При цьому, в першу чергу, здійснюється рухливість атомів Н і з меншою вірогідністю С1 (оскільки $m_{C1}/m_H = 35,5$; при потенціалі іонізації С–Н і С–С1 відповідно 11,26 і 13,59 еВ). Характерно, що при $308 \text{ K} \leq T \leq 316 \text{ K}$ величина $\alpha_l = f(T)$ лінійно зростає зі збільшенням температури. Слід відзначити, що в діапазоні 316–328 К на кривій $\alpha_l = f(T)$ з'являється другий пік дисипації енергії, так званий β -перехід [2], максимум якого відповідає температурній області 323 К. Подальше збільшення T супроводжується зростанням величини α_l , яка досягає максимального значення при $T = 341 \text{ K}$. Наявність в області температур $328 \text{ K} \leq T \leq 348 \text{ K}$ цього α -переходу обумовлена тим, що в ПВХ при $T \geq 328 \text{ K}$ зароджуються елементи кооперативного руху структуроутворень, для реалізації яких достатньо величини енергії температурного

поля. Для визначення температурної залежності часів релаксації $\tau_i(T)$ і величини енергії активації \bar{E} в області склування (9), при умові, що

$$\bar{E}(T) = \frac{kAB}{1 - (T_g - B)/T}, \quad (17)$$

де τ_{0i} , A , B – константи, відповідно рівні $(5 \cdot 10^{-12})$ с, 17 і 324 К; $i=1,2$. За результатами проведених розрахунків час осілого життя структурного елемента в області 348К становить $3,3 \cdot 10^{-12}$ с, енергії активації $7,0 \cdot 10^{-21}$ Дж, що забезпечує в першу чергу деформацію С–Н зв'язків. Після α -переходу (при $T \geq 348$ К) відбувається незначне зростання величини α_l .

В випадку деформації зсуву (α_l) (рис. 2б) спостерігаються відмінності в характері залежності $\alpha_l = f(T)$ при $298K \leq T \leq 348K$ порівняно з дисипативними процесами, що характеризуються величиною α_l . Так, в області $298K \leq T \leq 315K$ величині α_l відповідає область «плато», яка при $T \geq 315$ К в температурному діапазоні 315–319 К вироджується в другу таку ж область шириною 319–333 К. При $333K \leq T \leq 338K$ спостерігається зростання величини α_l до постійного значення 274 Нп·м⁻¹, яке зберігається в діапазоні $338K \leq T \leq 348K$ (рис. 2б). Наявність перехідних температурних областей 315–319 К і 333–338 К характеризує початок реалізації β - і α -переходів. Різниця між залежностями $\alpha_l = f(T)$ і $\alpha_t = f(T)$ пов'язана з тим, що поперечна хвиля не спричиняє зміни об'єму ПВХ-системи, а викликає напругу зсуву (співвідношення (8)). При цьому на відміну від поздовжньої деформації структурні елементи ПВХ не повертаються у вихідне положення таким же чином. Це викликає зміну величини коефіцієнта упакування структурних елементів [8], який досягає свого постійного значення в температурному діапазоні очікуваних β - і α -релаксаційних переходів. Оскільки дослідження охоплюють різні види деформаційних процесів ($i=l, t$) в широкому інтервалі температур (298–353К) із співвідношення (6) (з урахуванням того, що $\omega^2 \gg \omega_0^2$, де $\omega_0^2 = 2\mu(E)/(1-\nu)^2 l^2 \rho$; ν – коефіцієнт Пуассона; l – довжина структурного елемента), нами визначена величина m/L як параметр ентропійності просторової структури мікроблоку ПВХ. Число повторюваних ланок, які виникають між двома сусідніми зчепленнями в випадку поздовжньої деформації ПВХ, дорівнює 6,7, а при деформації зсуву – 15,3. Це обумовлює різну жорсткість каркасу сітки зчеплень у випадку поздовжньої та поперечної деформації матеріалу, що проявляється у величині модулів пружності ($E' > \mu'$) та пакуванні елементів структури композита.

При підвищенні температури відбувається збільшення величини коефіцієнта об'ємного розширення (ξ) ПВХ-систем, що представлено у вигляді нелінійної залежності $\xi = f(T)$ (рис. 3), та зміна їх густини ($\Delta\rho$) (рис. 4):

$$\Delta\rho = \rho_{\text{екс}} - \rho_n(1 - \phi) - \rho_n \phi \quad (18)$$

де $\rho_{\text{екс}}$, ρ_n , ρ_n – густини композита, полімеру та наповнювача відповідно, ϕ – концентрація наповнювача.

Як впливає із даних, представлених на рис.4, зі збільшенням вмісту наповнювача нелінійно змінюється величина $\Delta\rho$ – характеристика "розрихлення – ущільнення" композита. Це пов'язано з тим, що в ГПС під дією нанодисперсного наповнювача відбувається утворення локальних асоціатів з більш впорядкованим розподілом сегментів ніж в об'ємі полімерної матриці. Внаслідок такої взаємодії між

компонентами знижується рухливість сегментів, про що свідчить зміщення величини β - і α - релаксаційних переходів в область більш високих температур по мірі збільшення вмісту нанодисперсної міді.

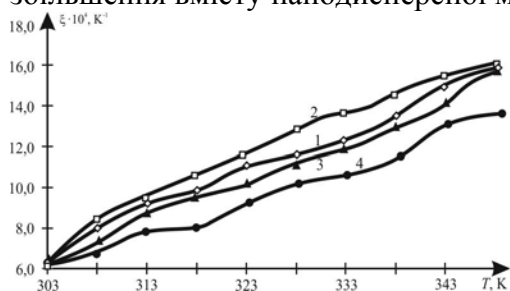


Рис. 3. Температурна залежність коефіцієнта об'ємного розширення (ξ) в ПВХ-системах: 1 – ПВХ, 2 – ПВХ+0,5 % об. Cu, 3 – ПВХ+0,3 % об. Cu, 4 – ПВХ+1,0 % об. Cu.

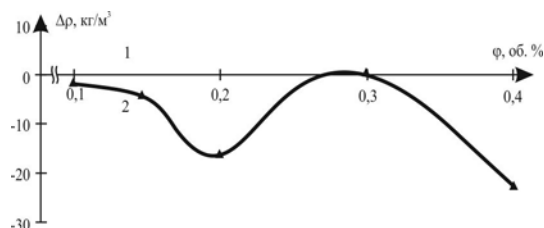


Рис. 4. Концентраційна залежність зміни густини ($\Delta\rho$) ПВХ-систем.

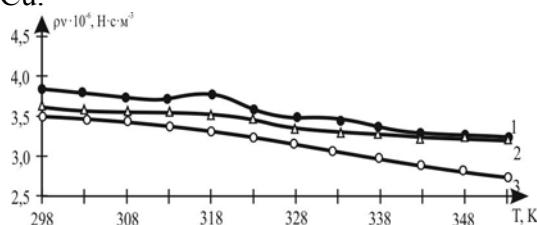


Рис. 5. Температурна залежність акустичного опору ПВХ-систем, які містять нанодисперсні частинки міді: 1 – ПВХ, 2 – ПВХ+0,5 % об. Cu, 3 – ПВХ+0,1 % об. Cu.

За допомогою співвідношень (12) – (14) оцінено також характер топології фази наночастинок у ГПС. Виявилось, що для ПВХ-систем домінує проста кубічна упаковка інгредієнта з урахуванням наявності міжфазного шару, а акустичний опір систем задовільно описується співвідношенням (13) (рис. 5). У всьому досліджуваному діапазоні T і ϕ спостерігаються залежності $\rho_2 \gg \rho_1$ і $|\rho_1(1-A)/\rho_2| \ll 1$. Це дозволяє за допомогою співвідношення (14) з урахуванням типу морфології фази наповнювача прогнозувати в'язкопружні властивості композитів та використовувати їх як демпфери і узгоджуючі проміжні системи в п'єзоелектричних пристроях генераторів і/або приймачів УЗ-коливань.

Висновки

На основі ПВХ, що містить як наповнювач нанодисперсні порошки міді, отримано ГПС з керованим комплексом в'язкопружних властивостей. Показано, що різниця у величині між- та внутрішньомолекулярної взаємодії елементів структури полімеру дозволяє за рахунок активної дії поверхні нанодисперсного металу реалізувати зміну жорсткості каркасу зчеплень структуроутворень композита. Цей процес найбільш повно описується за допомогою методу самоузгодженого поля та мікромеханічної теорії з урахуванням наявності межового шару. Наявність γ , β , α -релаксаційних переходів дає можливість використовувати ГПС як поглиначі енергії, узгоджуючі пристрої в елементах УЗ-техніки.

Література

1. Мэзон У. Свойства полимеров и нелинейная акустика. – Москва: Мир, 1969. – 422 с.

2. Хохлов А.Р., О некоторых перспективных направлениях современной науки о полимерах // Высокомолекулярные соединения. А. - 1990. - Т.32, №9. - С.1795-1810.
3. Пат. № 80987 UA, B22F 9/16. Спосіб отримання нанодисперсних металів як наповнювачів полімерних систем // Максимцев Ю.Р., Левчук В.В., Колупаєв Б.Б., Сідлецький В.О. - Опубл. 10.06.2013, Бюл. №. 11.
4. Колупаев Б.С., Релаксационные и термические свойства наполненных полимерных систем. Под ред. С.Я. Френкеля. – Львов: Вища школа, 1980. - 204 с.
5. Lyashuk.T.G.,Kolupaev B.B. Dynamics of a Heterogeneous Polymer System Obtained as a Result of Conductor Explosion. - Surface Engineering and Applied Electrochemistry. - 2012. - Vol.48, №5. - P. 487–490.
6. Френкель С.Я. Макромолекула. – Москва: Советская энциклопедия, 1974. - Вып. 2., Т. 2. - 1052 с.
7. Кац Г.С., Милевски Д.В. Наполнители для полимерных композитных материалов. - Москва :Химия, 2005. - 736 с.
8. Нильсен Л. Механические свойства полимеров и полимерных композитов. – Москва: Химия, 1978. - 301 с.
9. Клепко V.V. Kolupaev B.B. Lebedev E.V. Phonon Relaxation and Internal Friction in Heterogeneous Systems Based on Poly(vinylchloride) // Polymer Science. A. - 2010. – V. 52, №2. – P. 163-167.
10. Перепечко И.И. Введение в физику полимеров. - Москва: Химия, 1978. - 321 с.

ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОНАНОКОМПОЗИТОВ НА БАЗЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Б.Б. Колупаев, В.В.Левчук, Ю.Р. Максимцев, Б.С. Колупаев

*Ровенский государственный гуманитарный университет
33028, г.Ровно, ул Остафова, 31*

В работе представлены результаты исследований вязкоупругих свойств поливинилхлоридных (ПВХ) композитов с наноразмерным наполнителем (Cu) при продольной, объемной и деформации сдвига при частоте 0,4МГц в широкой области температур и содержания ингредиентов. Указаны пути направленного регулирования специфики поведения и использования ПВХ-систем при динамических и тепловых нагрузках.

VISCOELASTIC PROPERTIES OF METALNANOCOMPOSITES ON THE BASIS OF POLYVINYLCHLORIDE

B.B. Kolupaev, V.V. Levchuk, Yu.R. Maksymtsev, B.S. Kolupaev

Rovno state humanitarian university, 33028. Rovno, Ostafov str., 31

In work the presented results of researches of viscoelastic properties of polyvinylchloride (PVC) compositions with a nanodimensional filler (Cu) at longitudinal, volume and deformations shift at a frequency 0,4MHz in wide area of temperatures and ingredient contents. Methods of the directed regulation of specifics of behavior and PVC-systems use are specified at dynamic and thermal loadings.