

$$c = v_0 \left(1 + \frac{gv}{\pi k_0 a} \right). \quad (9)$$

Если же $gv > k_0 a$, то

$$c = v_0 \left(\frac{2gv}{\pi k_0 a} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

С ростом радиуса трубки количество заполненных подзон увеличивается, условие $\mu_0 > \epsilon_0$ оказывается выполненным. Тогда сумму по l в формуле (6) можно заменить интегралом. Формула (6) превратится в поляриза-

онный оператор (3). Решение дисперсионного уравнения (2) совпадает со спектром нулевого звука в двумерном электронном газе. Он получается с помощью разрезания трубки по образующей и разворачивания ее на плоскость с площадью S .

Рассмотренные здесь волны могут быть обнаружены в опытах с рассеянием света углеродными и полупроводниковыми нанотрубками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пайнс Д., Теория квантовых жидкостей / Д. Пайнс, Ф. Нозьер. – М.: Мир, 2000. – 382 с.

УДК 678.686

ТЕПЛОФІЗИЧНІ ТА ДЕФОРМАЦІЙНО-МІЦНІСНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕПОКСИДНИХ КЛЕЙОВИХ ЗАСОБІВ

О. С. Попова

Нині синтетичні клеї застосовують практично в усіх галузях народного господарства. Сучасні синтетичні клеї склеюють різноманітні матеріали, клейові з'єднання яких довговічні, здатні працювати в широкому інтервалі температур і в будь-яких кліматичних умовах. Масштаби використання клейових композицій на основі синтетичних смол значно збільшились в останні роки. Серед них особливого значення набувають епоксидні смоли.

Розширення асортименту та регулювання властивостей епоксидних клейових засобів з заданими властивостями є актуальним і являє науковий інтерес.

Сьогодні на ринку представлені різноманітні клеї вітчизняного й закордонного виробництва. Виробники пропонують широкий вибір клейових засобів на основі епоксидних олігомерів, які відрізняються сировиною, призначенням, якісними та цінними характеристиками тощо. Середньорічні світові темпи росту виробництва епоксидних клеїв у 2009 р.

становили 4% на рік, темпи споживання 7–8%. Для виробництва полімерних клеїв і компаундів використовується близько 25% смол, електроізоляційних матеріалів та ін.

Розвиток асортименту епоксидних клеїв здійснюється в напрямі поліпшення їх якості, особливо екологічної безпеки, санітарно-гігієнічних властивостей, довговічності та підвищення їх конкурентоспроможності.

Виробництво клеїв на основі епоксидних смол зосереджено в науково-виробничому підприємстві «Синтез» (м. Донецьк), ВАТ «АТТІК» (м. Львів), компанії «РЕМПЛАСТ» (м. Харків), ВАТ «Дафна» (м. Київ), LTD «LK GROS» (м. Київ) та ін. В їхньому асортименті – клеї, в яких використані епоксидно-діанові смоли марок ЕД-16, ЕД-20, які працюють добре з такими отверджувачами, як поліетиленполіамін (ПЕПА) або триетилентетраамін (ТЕТА).

Питаннями дослідження епоксидних смол і клейових композицій на їх основі займа-

лись багато вчених, такі як Д. А. Кардашов, В. М. Хрульов, А. П. Петрова, І. З. Чернин, Ф. М. Смехов, Ю. В. Жердев, Д. П. Лойко, Ю. С. Кочергін та ін. Аналіз наукових джерел показує, що більшість авторів звертають увагу на модифікацію матриць різних смол з використанням традиційних отверджувачів, розріджувачів і наповнювачів. Акцентуючи увагу на тому, що для епоксидних клеїв характерні широкий інтервал температур, у якому можна їх використовувати, корозійна пасивність, стійкість до дії хімічних речовин тощо. Практично жоден автор не досліджує споживчі властивості клеїв побутового призначення. Таким чином, оскільки досвід розробки епоксидних клейових засобів з поліпшеними екологічними та санітарно-гігієнічними властивостями недостатній і, як правило, використовуються одні й ті ж властивості, які не адаптовані до роботи в побуті, то виникла необхідність у проведенні досліджень у цьому напрямку.

Метою статті є дослідження теплофізичних і деформаційно-міцнісних властивостей епоксидних клейових засобів, які містять активний розріджувач вінілокс і наповнювач молотий карбонат кальцію NORMCAL.

Для вирішення цих проблем були поставлені такі завдання: дослідити вплив розріджувачів УП-616 і вінілокс на комплекс експлуатаційних властивостей клейових засобів, проаналізувати дію наповнювача NORMCAL на властивості епоксидних композицій.

Для визначення властивостей епоксидних клейових засобів, котрі містять високоактивний біфункціональний мономер 2-(вінілокси) етоксиметилоксиран (технічна назва «вінілокс») як розріджувача було проведено ряд наукових досліджень. Вінілокс – це смола нового покоління з нетиповим поєднанням корисних властивостей – високою чистотою та індивідуальністю, низькою в'язкістю, корозійною пасивністю, підвищеною міцністю та ін. [2, 3]. Доцільно зазначити, що вінілокс є стабільною нетоксичною рідиною.

Були проведені дослідження впливу вінілоксу на теплофізичні та деформаційно-міцнісні властивості епоксидних клейових засобів порівняно з широко вживаним на практиці крезилгліциділовим ефіром марки УП-616.

Для проведення досліджень використовували промислову епоксидно-діанову смолу марки Епікоте-828, розріджувачі УП-616 та вінілокс, отверджувач діетилентріамін (ДЕТА).

Дослідження проводили на базі Українського державного науково-дослідного інституту пластичних мас, м. Донецьк.

Теплофізичні характеристики епоксидних клейових засобів мають актуальне значення для практичного використання та визначають граничні температури їх використання. Дійсно, клейові з'єднання в реальних енергетичних пристроях і установках працюють у різному температурному інтервалі. Вони можуть створюватися під дією кліматичних умов, нагрівання самого матеріалу через процеси, що відбуваються під час експлуатації, нагрівання за рахунок пристрою підігріву електроустаткування в холодну пору року.

На блоці Dual Sample 912 термоаналітичного комплексу DuPont 9900 методом динамічної скануючої калориметрії встановлено, що додавання розріджувачів призводить до збільшення теплового ефекту реакції, а сама реакція в присутності розріджувачів починається при більш високій температурі (табл. 1). У більшій мірі це властиво клейовим засобам, що містять вінілокс, який має пластифікуючий вплив на епоксидну структуру, утвореною базовою рецептурою епоксидна смола та отверджувач.

Визначення деформаційно-міцнісних властивостей визначали за методиками, викладеними в чинній нормативній документації.

Результати досліджень деформаційно-міцнісних характеристик епоксидних клейових засобів на основі смоли Епікоте-828, отвердженою ДЕТА (табл. 2) із різним вмістом розріджувачів, дозволяють зробити висновки про залежність міцності при розтягуванні, деформації при розриві, модуля пружності, роботи руйнування, міцності при стискуванні, відриві та зсуві від їх кількості та типу.

У клейових композиціях наповнювачі використовують для зменшення усадки клейової плівки при затвердінні. Введення наповнювачів знижує залишкову напругу в клейовому шарі, що супроводжується підвищенням міцності адгезійного зв'язку.

Таблиця 1

Вплив розріджувачів на теплофізичні властивості епоксидних клейових засобів

Рецептура, мас. ч.	Тепловий ефект реакції, Дж/г	Температура початку реакції, °С	Температура максимальної швидкості реакції, °С	Температура склування, °С
Епикот-828-100 ДЕТА-12	350,7	55,74	94,84	100,86
Епикот-828-100 Вінілокс-20 ДЕТА-12	392,1	68,05	97,83	62,85
Епикот-828-100 УП-616 ДЕТА-15	388,1	64,18	98,35	77,35

Таблиця 2

Вплив розріджувачів на деформаційно-міцнісні властивості епоксидних клейових засобів

Показники властивостей	Концентрація розріджувача, мас. ч. ¹									
	Вінілокс					УП – 616				
	0	5	10	15	20	5	10	15	20	
Міцність при розтягуванні σ_p , МПа	$\frac{44^2}{58}$	$\frac{55}{65}$	$\frac{60}{71}$	$\frac{55}{76}$	$\frac{48}{70}$	$\frac{47}{66}$	$\frac{50}{66}$	$\frac{52}{63}$	$\frac{51}{60}$	
Деформація при розриві, ϵ_p , %	$\frac{2.1}{3.0}$	$\frac{2.4}{3.4}$	$\frac{2.8}{4.1}$	$\frac{3.1}{4.1}$	$\frac{3.8}{4.3}$	$\frac{1.9}{3.0}$	$\frac{2.3}{3.0}$	$\frac{2.4}{2.8}$	$\frac{2.3}{2.4}$	
Модуль пружності, Е, ГПа	$\frac{0.98}{1.25}$	$\frac{1.1}{1.3}$	$\frac{1.5}{1.55}$	$\frac{1.3}{1.55}$	$\frac{1.0}{1.48}$	$\frac{0.99}{1.2}$	$\frac{1.4}{1.5}$	$\frac{1.31}{1.43}$	$\frac{0.98}{1.39}$	
Робота руйнування, A_p , кДж/м ²	$\frac{0.55}{1.04}$	$\frac{0.79}{1.75}$	$\frac{1.00}{1.75}$	$\frac{1.02}{1.81}$	$\frac{1.06}{1.80}$	$\frac{0.54}{1.19}$	$\frac{0.69}{1.17}$	$\frac{0.75}{1.06}$	$\frac{0.72}{0.86}$	
Міцність при стискуванні, $\sigma_{ск}$, МПа	$\frac{93}{116}$	$\frac{98}{116}$	$\frac{105}{118}$	$\frac{104}{116}$	$\frac{101}{112}$	$\frac{105}{115}$	$\frac{112}{124}$	$\frac{118}{127}$	$\frac{120}{128}$	
Міцність при відриві, $\sigma_{отр}$, МПа	$\frac{21.2}{28.6}$	$\frac{26.3}{38.8}$	$\frac{24.6}{39.5}$	$\frac{21.2}{37.9}$	$\frac{17.5}{36.5}$	$\frac{22.3}{36.4}$	$\frac{23.1}{35.7}$	$\frac{23.0}{33.1}$	$\frac{22.7}{30.8}$	
Міцність при зсуві, τ_b , МПа	$\frac{9.9}{15.8}$	$\frac{17.4}{21.7}$	$\frac{19.7}{23.5}$	$\frac{20.5}{25.7}$	$\frac{21.1}{26.5}$	$\frac{16.3}{23.0}$	$\frac{19.3}{22.8}$	$\frac{20.9}{22.9}$	$\frac{21.4}{22.4}$	

Примітки. 1. На 100 мас. ч. епоксидної смоли.

2. У чисельнику – холодне отвердження (22 °С/240 год); у знаменнику – отвердження з термообробкою (22 °С/24 год + 120 °С/3 год).

У деяких випадках додавання наповнювачів сприяє збільшенню не тільки міцності, але й теплостійкості клейових з'єднань, кращому заповненню клейових шарів між склеюваними поверхнями, дозволяє економити склеювальні матеріали.

Наповнювачі в клейових засобах спричиняють і деякі негативні явища. Органічні наповнювачі, наприклад, знижують водостійкість клейових з'єднань. Нестійкі до кислот і лугів наповнювачі можуть вступати в реакцію з іншими компонентами клейових засобів і сповільнювати процес затвердіння.

В Україні розповсюджені в обігу і використанні три типи молотого карбонату кальцію, а

саме торговельних марок «Nigkal», «Normcal», «Gurcarb». Залежно від розміру часток вони рекомендовані у виробництві різноманітних фарб, клеїв, щільних і текстурних шпалер, ущільнювальних сумішей тощо.

Далі розглянемо вплив наповнювача на властивості досліджуваних композицій. Як наповнювач використовували молотий карбонат кальцію NORMCAL (Туреччина), його властивості наведені в табл. 3.

У табл. 4 представлені результати вимірювання деформаційно-міцнісних властивостей епоксидних клейових засобів, що містять 50 мас. ч. наповнювача з різноманітним розміром часток.

Таблиця 3

Властивості наповнювача марки NORMCAL

Параметри	Марка наповнювача				
	1	3	5	20	40
Максимальний розмір часток, мкм	6,0–7,0	11,0–15,0	23,0–26,0	35,0–55,0	55,0–70,0
Середній розмір часток, мкм	2,01	2,82	4,24	6,21	8,34

З даних табл. 3 можна побачити, що додавання наповнювача призводить до деякого збільшення адгезійних параметрів при зсуві та відриві клейових з'єднань, а також температури склування та модуля пружності. В той же

час когезійна міцність і деформація при розриві, навпаки, декілька знижуються.

Доцільно зауважити, що значення параметрів більшою мірою залежить від режиму затвердження, ніж від розміру наповнювача.

Таблиця 4

Залежність властивостей епоксидних клейових засобів від розмірів часток наповнювача NORMCAL

Параметр	Базовий зразок ¹	Марка наповнювача				
		1	3	5	20	40
Міцність при зсуві клейових з'єднань, τ_v , МПа	19,7 23,5 ²	21,4 23,6	21,6 24,1	22,0 24,4	21,8 24,3	20,3 24,0
Міцність при відриві клейових з'єднань, $\sigma_{отр}$, МПа	24,6	25,9	25,8	26,7	26,7	25,6
Міцність при розтягуванні σ_p , МПа	60,3 70,8	56,7 62,7	57,1 64,1	58,1 62,9	57,3 63,1	55,8 61,9
Деформація при розриві, ϵ_p , %	2,9 4,1	2,7 3,3	2,8 3,3	2,8 3,3	2,7 3,3	2,6 3,2
Динамічний модуль пружності E, ГПа	1,48 1,55	1,49 1,54	1,45 1,54	1,46 1,55	1,44 1,54	1,44 1,51
Температура склування, T_c , °C	54 101	57 104	57 105	58 105	57 105	58 105
Водопоглинання, W, %	0,93	0,89	0,88	0,85	0,85	0,84

Примітки. 1. Епікоте-828 (100 мас. ч.) + вінілокс (10 мас. ч.) + ДЕТА (14 мас. ч.).

2. У чисельнику – холодне отвердження (22 °C/240 год); у знаменнику – отвердження з термообробкою (22 °C/24 год + 120 °C/3 год).

Для забезпечення поліпшення споживчих властивостей епоксидних клейових засобів доцільно використання модифікованих клейових композицій новими сировинними матеріалами з урахуванням екологічної безпеки композицій, розробляти клейові засоби з підвищеним комплексом властивостей.

Результати проведених досліджень дозволяють зробити висновки, що як активний розріджувач доцільно використовувати вінілокс і наповнювач молотий карбонат кальцію NORMCAL для поліпшення теплофізичних і деформаційно-міцностних властивостей.

Отже, оскільки досвід розробки епоксидних клейових засобів з покращеними екологіч-

ними і санітарно-гігієнічними властивостями недостатній, і, як правило, використовуються одні й ті ж властивості, не адаптовані до роботи у побуті, то виникає необхідність у проведенні досліджень у цьому напрямі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ли Х. Справочное руководство по эпоксидным смолам / Х. Ли, К. Невилл. – М. : Энергия, 1973. – 416 с.
2. Trofimov B. A. A new strategy in the synthesis of epoxy resins / B. A. Trofimov, N. A. Nedolya // Reviews on heteroatom Chem. (Japan). – 1993. – Vol. 9. – P. 205–209

3. Станкевич В. К. Технологические аспекты получения винилокса – нового перспективного мономера и полупродукта / В. К. Станкевич, Б. А. Трофимов, Л. Е. Белозеров // Современные проблемы химической технологии : Расширенные тезисы докладов всесоюзной конференции. – Т. 3. : Новые направления в комплексной переработке природного органического сырья. – Красноярск, 1986. – С. 272–273.
4. Малкин А. Я. Методы измерения механических свойств полимеров / А. Я. Малкин, А. А. Аскадский В. В. Коврига. – М. : Химия, 1978. – 336 с.

