

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВМІСТУ ТВЕРДНИКІВ У ПОЛІЕФІРНОМУ ЗВ'ЯЗУВАЧІ ДЛЯ СТВОРЕННЯ МАТЕРІАЛІВ З ПІДВИЩЕНИМИ АДГЕЗІЙНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Кобельник О.С.

Херсонська державна морська академія

Проаналізовано адгезійні властивості та залишкові напруження у композитних матеріалах на основі поліефірної смоли марки Norsodyne O 12335 AL при додаванні різних за природою твердників. Встановлено, що максимальною взаємодією серед досліджуваних компонентів відрізняються твердники Akregox A50 та Vitapox-M50. Досліджено вміст даних твердників у поліефірній смолі Norsodyne O 12335 AL при зміні їх концентрації у діапазоні $q = 40 \dots 60$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. поліефірної смоли. Встановлено, що максимальні показники адгезійної міцності має матеріал із додаванням $q = 1,0$ мас.ч. твердника Vitapox-M50. Додатково досліджено властивості матеріалів при введенні кобальтового прискорювача за різного вмісту до визначеного складу поліефірного зв'язувача. Розроблено матрицю на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, яка містить твердник Vitapox-M50 у кількості $q = 1,0$ мас.ч та кобальтовий прискорювач у кількості $q = 0,10$ мас.ч. Матриця відзначається наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 1,5$ МПа.

Ключові слова: композит, поліефірна смола, полімер, твердник, адгезійні властивості.

Постановка проблеми. На сьогодні конструкційні матеріали, у тому числі на полімерній основі, широко використовують у різних галузях промисловості [1, 2]. При цьому відомий достатньо широкий спектр полімерних матеріалів різного функціонального призначення, зокрема на основі епоксидних і поліефірних смол, із яких формують композити з підвищеними експлуатаційними характеристиками [2, 3]. Використання багатокомпонентних поліефірних матеріалів зумовлено доступністю сировинної бази, відносно невисокою собівартістю їх компонентів, простих умов формування. Водночас, дані матеріали можливо формувати з наперед заданими та прогнозованими властивостями за рахунок використання різних технологій формування, введення наповнювачів, пластифікаторів, прискорювачів і твердників різної фізичної природи. Розвиток сучасного полімерного матеріалознавства висуває достатньо високі вимоги щодо комплексу властивостей матеріалів [4, 5]. Тому проблема створення полімерних матеріалів з необхідним комплексом експлуатаційних характеристик є актуальною та перспективною на сьогодні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні широко й ефективно використовують композитні матеріали (КМ) на основі епоксидіанової смоли ЕД-20 (ГОСТ 10587-84) та твердника поліетиленполіаміну (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78) [3-4]. Однак, відомо [3-6], що існує широкий спектр поліефірних смол різного призначення, які відрізняються швидкістю полімеризації, фізико-хімічними процесами міжфазової взаємодії і, відповідно, адгезійними та когезійними властивостями. Серед них перспективним є використання литтєвої поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, однак її властивості та процеси взаємодії з твердниками досліджено ще не достатньо. Водночас використання такого олігомеру дозволить створити полімерну матрицю із заданими властивостями для покриттів різного функціонального призначення, а також композиції для виготовлення виробів, які працюють у критичних умовах під впливом знакозмінних температур і знакозмінних навантажень. Тому актуальним і перспективним є дослідження взаємодії даного поліефірного зв'язувача із твердниками різної природи та призначення, встановити оптимальний їх вміст для формування матеріалів на їх основі різного функціонального призначення. У цьому напрямку актуальними є дослідження таких вчених, як Букетов А. В. [3, 4], Сапронов О. О. [3, 4], Тхір І. Г. [5], Браїло М. В. [3, 6].

Мета роботи – визначити оптимальний вміст твердників у поліефірному зв'язувачі для створення матеріалів із поліпшеними адгезійними властивостями.

Матеріали та методика дослідження. Із метою формування матриці для КМ з підвищеними адгезійними властивостями використовували наступні інгредієнти.

1. Як основний компонент для зв'язувача вибрано ортофталеву насичену передприскорену литтєву полієфірну смолу Norsodyne O 12335 AL.

2. Твердник холодного тверднення поліетиленполіамін (ПЕПА).

3. Модифікований аміноаддуктовий твердник на основі аліфатичного поліаміну марки Telalit 410.

4. Твердник гарячого тверднення ізо-метилтетрагідрофталевий ангідрид (ІЗО-МТГФА).

5. Твердник для полієфірних смол Akperox A50 – суміш пероксиду метилетилкетону в диметилфталаті.

6. Твердник для полієфірних смол Butanox-M50, що є перекисом метилетилетилкетону (МЕКП).

7. Кобальтовий прискорювач (6%-ний розчин октоату кобальту в толуолі) (КБП) – використовується як каталізатор під час процесу полімеризації ненасичених полієфірних смол. При додаванні прискорювача прогнозовано керують тривалістю циклу сополімеризації полієфірної смоли [5].

Із метою вивчення взаємодії полієфірної смоли з твердниками різної природи та встановлення їх оптимального співвідношення у матриці досліджували адгезійну міцність при відриві та зсуві і залишкові напруження матеріалів різного вмісту компонентів зв'язувача.

Адгезійну міцність КМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження при рівномірному відриві пари склеєних зразків («метод грибків»), згідно з ГОСТ 14760-69. Дослідження адгезійної міцності при зсуві проводили згідно з ГОСТ 14759-69, аналогічно вимірюючи силу відривання клейових з'єднань сталених зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження $v = 10$ Н/с. Діаметр робочої частини сталених зразків при відриві становив – $d = 25$ мм. Слід зазначити, що площа склеювання зразків, які досліджували при відриві та зсуві, була однаковою.

Залишкові напруження у матеріалах визначали консольним методом. Покриття з товщиною $\delta = 0,1 \dots 0,3$ мм формували на сталній основі. Параметри основи: загальна довжина – $l = 100$ мм, робоча довжина – $l_0 = 80$ мм, товщина – $\delta = 0,3$ мм.

Затверджували матеріали за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримання впродовж часу $t = 12,0 \pm 0,1$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримання зразків при даній температурі впродовж часу $t = 2,0 \pm 0,05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $t = 24$ год на повітрі за температури $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Результати досліджень та їх обговорення. На початковому етапі досліджували адгезійну міцність та залишкові напруження матеріалів на основі полієфірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердниками різної природи. Використовували твердники, які призначені, як для полієфірних, так і для епоксидних смол, позаяк зазначені олігомери містять подібні функціональні групи. Вміст твердників у полієфірній смолі вибрано відповідно до рекомендацій фірм-виробників та на основі результатів дослідження їх взаємодії з іншими олігомерами [6, 7]. Результати дослідження властивостей матеріалів за різного вмісту вибраних твердників наведено у табл. 1. Вміст твердників розраховано на $q = 100$ мас.ч. полієфірної смоли Norsodyne O 12335 AL (тут і надалі вміст інгредієнтів вказано на 100 мас.ч. полієфірної смоли).

Таблиця 1 – Властивості матриці на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердниками різної природи

Показник	Твердники					
	ПЕПА, $q = 10$ мас.ч.	Telalit 410 $q = 10$ мас.ч.	ІЗО МТГФА $q = 10$ мас.ч.	ІЗО МТГФА $q = 20$ мас.ч.	Акперох А50 $q = 2$ мас.ч.	Butanox-M50 $q = 2$ мас.ч.
σ_a , МПа	2,9	0,3	1,2	0,8	6,1	6,7
τ , МПа	1,2	0,1	0,6	0,2	2,1	2,3
σ_z , МПа	1,0	0,2	0,9	0,8	1,1	0,9

Згідно результатів дослідження встановлено, що максимальними показниками адгезійної міцності та мінімальними показниками залишкових напружень серед усього спектру випробовуваних матеріалів характеризується матриця з твердниками Акперох А50 ($\sigma_a = 6,1$ МПа, $\tau = 2,1$ МПа, $\sigma_z = 1,1$ МПа) та Butanox-M50 ($\sigma_a = 6,7$ МПа, $\tau = 2,3$ МПа, $\sigma_z = 0,9$ МПа) при їх вмісті у поліефірній смолі $q = 2$ мас.ч. (дану концентрацію обрано відповідно рекомендацій фірм-виробників). Отримані результати дослідження доводять, що у дані твердники активізують молекулярну взаємодію та процеси зшивання поліефірних смол із наступним формуванням тривимірної сітки полімеру. Водночас, цікавим є те, що вступають у взаємодію з поліефірною смолою і твердники, які призначені для епоксидних олігомерів. Зокрема, показники адгезійної міцності при відриві композиту, зшитого твердником ПЕПА за вмісту $q = 10$ мас.ч., становлять – $\sigma_a = 2,9$ МПа, при зсуві – $\tau = 1,2$ МПа, а залишкові напруження становлять $\sigma_z = 1,0$ МПа. Опосередковано це свідчить про те, що твердник ПЕПА у своєму хімічному складі має групи молекул, які вступають у реакцію із хімічними компонентами поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL. Додатково слід зазначити, що зшивання матриці твердниками Telalit 410 та ІЗО МТГФА, які призначені для полімеризації епоксидних смол, не забезпечило отримання матеріалів з поліпшеними властивостями, позаяк показники досліджуваних характеристик були наступними: $\sigma_a = 0,3 \dots 1,2$ МПа, при зсуві – $\tau = 0,1 \dots 0,6$ МПа, а залишкові напруження становлять $\sigma_z = 0,2 \dots 0,9$ МПа.

Отже, необхідно відмітити, що для наступних досліджень слід використовувати матриці на основі поліефірної смоли, зшитих твердниками Акперох А50 та Butanox-M50. Властивості таких матриць є найкращими серед досліджуваних матеріалів. Водночас слід зауважити, що показники досліджуваних властивостей є не достатньо високими, тому на наступному етапі досліджували властивості матеріалів за різного вмісту даних компонентів. Концентрацію змінювали у діапазоні $q = 1 \dots 12$ мас.ч. твердника на $q = 100$ мас.ч. поліефірного олігомеру Norsodyne O 12335 AL. Результати дослідження наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Властивості матриць за різного вмісту твердників Butanox-M50 і Акперох А50 у поліефірному зв'язувачі

Вміст твердника у матриці, q , мас.ч.	σ_a , МПа		τ , МПа		σ_z , МПа	
	I	II	I	II	I	II
1	7,3	6,3	2,5	2,2	0,8	1,1
2	6,8	6,1	2,3	2,1	0,9	1,1
3	5,8	4,3	2,2	2,0	1,0	1,2
5	5,5	4,1	1,9	1,7	1,2	1,3
8	3,0	3,5	1,8	1,6	1,2	1,4
12	1,8	3,0	1,7	1,4	1,3	1,5

Примітка: I – матеріал на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердником Butanox-M50; II – матеріал на основі поліефірної смоли Norsodyne O 12335 AL, зшитої твердником Акперох А50

Експериментально встановлено, що збільшення вмісту твердників у поліефірному зв'язувачі призводить до зниження показників адгезійної властивості матеріалу та підвищення залишкових напружень. Очевидно, що надлишок твердника призводить до його хаотичного розподілення між молекулами олігомеру, внаслідок чого зшивання матеріалу відбувається не достатньо. Максимальними показниками ($\sigma_a = 7,3$ МПа, $\tau = 2,5$ МПа, $\sigma_z = 0,8$ МПа) відзначається матриця, зшита твердником Butanox-M50 за вмісту останнього $q = 1,0$ мас.ч. Водночас, слід зазначити, що показники властивостей матриці, зшитої твердником Акрегох А50 за такого ж вмісту є дещо меншими і становлять: $\sigma_a = 6,3$ МПа, $\tau = 2,2$ МПа, $\sigma_z = 1,1$ МПа. Необхідно звернути увагу, що адгезійні властивості матеріалів, зшитих твердниками Акрегох А50 та Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч. та $q = 2,0$ мас.ч., відрізняються несуттєво. Це підтверджує рекомендації фірми-виробника, у яких зазначено, що оптимальний вміст твердників у поліефірній смолі становить $q = 1,0 \dots 10,0$ мас.ч. Отже, на основі результатів дослідження доведено, що максимальними показниками адгезійної міцності відзначається матеріал, зшитий твердником Butanox-M50. Тому, на наступному етапі дослідження доцільно використовувати матеріал із зазначеними концентраціями компонентів: поліефірний олігомер – $q = 100$ мас.ч., твердник Butanox-M50 – $q = 1,0$ мас.ч. або $q = 2,0$ мас.ч.

Загальновідомо [2, 5], що для підвищення реакції полімеризації поліефірних смол та отримання заданих властивостей, у зв'язувач вводять кобальтові прискорювачі. Нами вибрано для активації процесів фізико-хімічної взаємодії розробленої матриці кобальтовий прискорювач – 6 %-ний розчин октоату кобальту в толуолі. Виходячи з цього, на наступному етапі досліджували вплив вмісту прискорювача в поліефірній смолі, за визначеного попередньо вмісту твердника Butanox-M50, на властивості матриці. Рекомендований вміст даного прискорювача фірмами-виробниками становить $q = 0,10$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. олігомеру. Результати дослідження наведено у табл. 3.

Таблиця 3 – Властивості поліефірних матриць за різного вмісту твердника Butanox-M50 та кобальтового прискорювача

<i>Вміст твердника Butanox-M50 у матриці, q, мас.ч.</i>	<i>Вміст прискорювача, q, мас.ч.</i>	<i>σ_a, МПа</i>	<i>τ, МПа</i>	<i>σ_z, МПа</i>
1,0	0,01	13,8	4,7	1,9
	0,04	14,0	4,8	1,8
	0,06	14,2	5,2	1,8
	0,10	19,8	6,4	1,5
2,0	0,02	7,3	2,5	1,6
	0,08	11,4	3,9	1,5
	0,12	6,8	2,4	1,6
	0,20	6,5	2,4	1,7

Експериментально доведено, що введення прискорювача у поліефірний зв'язувач приводить до підвищення показників адгезійної міцності та зниження залишкових напружень у полімерній матриці. Крім того, максимальні значення показників досліджуваних властивостей встановлено за вмісту твердника Butanox-M50 $q = 1,0$ мас.ч. Очевидно, що молекули твердника забезпечують процеси фізико-хімічної взаємодії та зшивання зв'язувача, а прискорювач пришвидшує перебіг даних процесів. Однак, надмірна кількість згаданих вище інгредієнтів зумовлює формування матриці зі значним вмістом золь-фракції, що, у свою, чергу, призводить до погіршення її адгезійних властивостей. Наведеними вище припущеннями можна, на наш, погляд, пояснити погіршення властивостей матриці, що містить твердник Butanox-M50 ($q = 2,0$ мас.ч.) і прискорювач КбП ($q = 0,02 \dots 0,20$ мас.ч.) порівняно з властивостями матриці, яка містить твердник Butanox-M50 ($q = 1,0$ мас.ч.) і прискорювач КбП ($q = 0,01 \dots 0,10$ мас.ч.).

Аналіз результатів дослідження адгезійної міцності модифікованої поліефірної матриці, зшитої твердником Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч. із додаванням кобальтового прискорювача у кількості $q = 0,01 \dots 0,10$ мас.ч., дозволяє стверджувати, що

максимальними показниками відзначається матеріал за вмісту КБП – $q = 0,10$ мас.ч. Матеріал характеризується наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 1,5$ МПа. Опосередковано це свідчить про те, що пришвидшення процесу полімеризації за даного вмісту кобальтового прискорювача приводить до формування тривимірної сітки полімеру з максимальною кількістю рівномірно розподілених у об'ємі системи фізичних і хімічних зв'язків.

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень можна констатувати наступне:

1. Експериментально встановлено, що максимальною взаємодією з поліефірною смолою Norsodyne O 12335 AL серед досліджуваних компонентів відрізняються твердники Акрегох А50 та Butanox-M50 за вмісту $q = 2$ мас.ч. на 100 мас.ч. поліефірної смоли. При зшиванні поліефірної смоли твердником Акрегох А50 формується матеріал із наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві $\sigma_a = 6,1$ МПа, при зсуві – $\tau = 2,1$ МПа, залишкові напруження $\sigma_3 = 1,1$ МПа. При зшиванні поліефірної смоли твердником Butanox-M50 формується матриця з наступними властивостями: $\sigma_a = 6,7$ МПа, $\tau = 2,3$ МПа, $\sigma_3 = 0,9$ МПа.

2. При дослідженні вмісту твердників Акрегох А50 та Butanox-M50 у поліефірній смолі на властивості матриці встановлено, що максимальними показниками адгезійної міцності характеризується матеріал із твердником Butanox-M50 за концентрації $q = 1,0$ мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру Norsodyne O 12335 AL. При цьому адгезійна міцність матриці при відриві становить $\sigma_a = 7,3$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 2,5$ МПа, а залишкові напруження – $\sigma_3 = 0,8$ МПа.

3. Доведено, що при формуванні матриці з поліпшеними адгезійними властивостями у поліефірний зв'язувач Norsodyne O 12335 AL ($q = 100$ мас.ч.), зшитий твердником Butanox-M50 за вмісту $q = 1,0$ мас.ч., слід вводити кобальтовий прискорювач у кількості $q = 0,10$ мас.ч. Розроблений матеріал характеризується наступними властивостями: адгезійна міцність при відриві – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезійна міцність при зсуві – $\tau = 6,4$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_3 = 1,5$ МПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.

2. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. и др.; под ред. Берлина А. А. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.

3. Buketov A. V. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / A. V. Buketov, O. O. Saprnov, M. V. Brailo, V. L. Aleksenko // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – P.696-701.

4. Buketov A. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler / A. V. Buketov, O. O. Saprnov, M. V. Brailo // Strength of Materials. – Vol. 46, N 5. – 2014. – P. 717-723.

5. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький – Львів : вид. нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.

6. Браїло М. В. Дослідження впливу вмісту твердника і температури зшивання на властивості епоксидних зв'язувачі / М. В. Браїло // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2013. – № 2 (65) – С. 3-12.

7. Букетов А. В. Епоксидні наноккомпозити : монографія / А. В. Букетов, О. О. Сапрнов, В. Л. Алексенко. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2015. – 184 с.

REFERENCES

1. P.O. Maruschak, I.V. Konovalenko, V. Gliha, et al., «Physical regularities in cracking of nanocoating and the method for automated determination of crack network parameters» in: Book of Abstracts of the 19th Conf. on Materials and Technology (November 22-23, 2011, Slovenia, Portoroz) (2011) – P. 52.
2. Polimernihe kompozicionnihe materialih: struktura, svoystva, tekhnologiya: ucheb. posobie / Kerber M. L., Vinogradov V. M., Golovkin G. S. i dr.; pod red. Berlina A. A. – SPb. : Professiya, 2008. – 560 s.
3. Buketov A. V. Influence of the ultrasonic treatment on the mechanical and thermal properties of epoxy nanocomposites / A. V. Buketov, O. O. Saprionov, M. V. Brailo, V. L. Aleksenko // Materials Science. – Vol. 49, Number 5. – 2014. – P.696-701.
4. Buketov A. V. Investigation of the physico-mechanical and thermophysical properties of epoxy composites with a two-component bidisperse filler / A. V. Buketov, O. O. Saprionov, M. V. Brailo // Strength of Materials. – Vol. 46, N 5. – 2014. – P. 717-723.
5. Tkhir I. G. Fiziko-khimiya polimeriv : navch. posibnik / I. G. Tkhir, T. V. Gumenecjkiy – Ljviv : vid. nac. univer. «Ljvivjsjka politehnika», 2005. – 240 s.
6. Braïlo M. V. Doslidzhennya vplivu vmistu tverdnika i temperaturi zshivannya na vlastivosti epoksidnih zv'yazuvachi / M. V. Braïlo // Visnik Zhitomirskogo derzhavnogo tekhnologichnogo universitetu. Seriya : Tekhnichni nauki. – 2013. – № 2 (65) – S. 3-12.
7. Buketov A. V. Epoksidni nanokompoziti : monografiya / A. V. Buketov, O. O. Saprionov, V. L. Aleksenko. – Kherson : Vidavnictvo KhDMA, 2015. – 184 s.

Кобельник О.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ОТВЕРДИТЕЛЯ В ПОЛИЭФИРНОМ СВЯЗУЮЩЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕРИАЛА С ПОВЫШЕННЫМИ АДГЕЗИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ

Проанализированы адгезионные свойства и остаточные напряжения в композиционных материалах на основе полиэфирной смолы марки Norsodyne O 12335 AL при добавлении к ней отвердителей различных по природе. Установлено, что максимальными показателями адгезионных свойств среди исследуемых матриц отличаются материалы, сшитые отвердителями Akperox A50 и Butanox-M50. Исследовано влияние содержания данных отвердителей в полиэфирной смоле Norsodyne O 12335 AL при изменении их концентрации в диапазоне $q = 40...60$ мас.ч. на $q = 100$ мас.ч. смолы. Установлено, что максимальными показателями адгезионной прочности имеет материал с добавлением отвердителя Butanox-M50 в количестве $q = 1,0$ мас.ч. Дополнительно исследованы свойства данной матрицы при добавлении кобальтового ускорителя. При этом разработана матрица на основе полиэфирной смолы Norsodyne O 12335 AL, сшитая отвердителем Butanox-M50 в количестве $q = 1,0$ мас.ч. и кобальтового ускорителя при содержании $q = 0,10$ мас.ч. Матрица отличается следующими свойствами: адгезионная прочность при отрыве – $\sigma_a = 19,8$ МПа, адгезионная прочность при сдвиге – $\tau = 6,4$ МПа, остаточные напряжения – $\sigma_r = 1,5$ МПа.

Ключевые слова: композит, полиэфирная смола, полимер, отвердитель, адгезионные свойства.

Kobelnyk O.S. DEFINITIONS OPTIMAL CONTENT OF HARDENER IN POLYESTER BINDERS TO CREATE STORIES WITH HIGH ADHESION PROPERTIES

Analyzed adhesive properties and residual stresses in composite materials based on brand Norsodyne O AL 12335 polyester resin adding different hardeners to it in nature. It was found that the adhesive properties maksimalnomy rates among the studied matrices are different materials stitched hardeners Akperox A50 and Butanox-M50. The influence of the content of these hardeners in polyester resin Norsodyne O 12335 AL changing their concentrations in the range of $q = 40...60$ parts by weight on $q = 100$ parts by weight of resin. It is found that the highest rates of adhesive strength with the addition of a material Butanox-M50 hardener in an amount of $q = 1,0$ parts. Additionally, we investigate the properties of the matrix by adding cobalt accelerator. When this matrix is designed based on polyester resin Norsodyne O 12335 AL, crosslinked Butanox-M50 hardener in an amount of $q = 1,0$ parts and when the content of cobalt accelerator $q = 0,10$ parts. The matrix has the following properties: adhesion strength in the separation – $\sigma_a = 19,8$ МПа, the adhesive shear strength – $\tau = 6,4$ МПа, residual stresses – $\sigma_r = 1,5$ МПа.

Keywords: composite polyester resin, resin, curing agent, adhesive properties.

© Кобельник О. С.

Статтю прийнято
до редакції 05.010.15