

vnezapnoy razgermetizatsii otsekov letatel'nogo apparata// Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyye tehnologii. - Harkov: Nats. aerokosm. un-t «HAI». - 2014. - Vyip. 63. - S. 134 - 151.

11. Donik V.D. Issledovanie parametrov vozduha v otseke pri peremennom znachenii uravneniya politropyi //Materialyi chetyrindatsatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii imeni akademika M.Kravchuka 19-21 maya 2012 goda. - K. -

2012. - S. 169.

12. Donik V.D., Zaporozhets O.I. AeroakustichnI protsesi v razI rozgermetizatsiYi posudini z nadlishkovim tiskom gazu// VIsn. NAU. - K. - 2006. - #1(27). - S. 70 - 75.

13. Ivlientiev V.S. Razgermetizatsiya kabin letatelnyih apparatov: Avtoref. dis. d-ra tehn. nauk: 05.0702. - M.: MAI, 1983. - 32 s.

ФОРМУВАННЯ КЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БАГАТОШАРОВИХ КОНСТРУКЦІЙ СУДЕН

Казимиренко Юлія Олексіївна

кандидат технічних наук, доцент

кафедри матеріалознавства і технології металів

Національного університету кораблебудування

імені адмірала Макарова

THE ADHESIVE BOND FORMATION FOR VESSELS MULTILAYER CONSTRUCTIONS MANUFACTURING

Kazymyrenko Y.O., Associate Professor Department of Materials Science and Technology of Metals Dept Admiral Makarov National University of Shipbuilding

АНОТАЦІЯ

Досліджено структуру, фізико-механічні, рентгенозахисні властивості, горючість клейової композиції на основі епоксидно-діанової смоли ЕД-20, наповненої порожніми скляними мікросферами. Показано перспективи застосування для виготовлення конструкцій біологічного захисту суден та плавучих споруд, призначених для перевезення та зберігання радіоактивних речовин. Проведено випробування на термостійкість в умовах виникнення пожежонебезпечних ситуацій.

ABSTRACT

The structure, physical, mechanical and X-ray protective properties, the flammability of the adhesive composition on the basis of epoxy resin ED-20 filled with hollow glass microspheres have been investigated. The prospects of the use of the adhesive composition for manufacturing constructions of biological protection of vessels and floating facilities for the transportation and storage of radioactive substances have been shown. The tests on heat resistance in the conditions of occurrence of fire situations have been carried out.

Ключові слова: клейова композиція, суднові конструкції, адгезія, з'єднання, горючість

Key words: adhesive composition, vessel constructions, adhesion, flammability.

Постановка проблеми. Виготовлення шаруватих композитних суднових конструкцій пов'язано з утворенням міцного з'єднання різних за складом та властивостями шарів. Забезпечення герметичності стику є важливою технологічною задачею, від якої залежить надійність подальшої експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Для виготовлення шаруватих конструкцій у суднобудуванні застосовують зварювальні технології, механічні кріплення та адгезійні клейові з'єднання [1]. Надійність конструкцій визначається міцністю зчеплення, незначною різницею в значеннях термічних коефіцієнтів лінійного розширення (ТКЛР), ремонтною і експлуатаційною технологічністю. Застосування механічних кріплень порушує цілісність матеріалів конструкцій, знижуючи ступінь їх герметичності. При з'єднанні металів та неметалів за допомогою зварювання через різницю ТКЛР в конструкціях виникають залишкові температурні напруження, застосування технологій пайки обмежується масштабним фактором конструкцій. Необхідну герметичність, корозійну та хімічну стійкість забезпечують адгезійні клейові з'єднання, які, не зважаючи на порівняно з іншими методами меншу механічну міцність, характеризуються певною технологічністю та невеликою вартістю внаслідок відсутності енерго-

витрат.

На спеціалізованих суднах, призначених для перевезення радіоактивних речовин, для захисту обладнання та персоналу застосовують модульні конструкції біологічного захисту [2], які складаються із шарів бетону та сталі. Для підвищення комплексного захисту від дії іонізуючих випромінювань, корозійних процесів, підвищених температур в роботі [3] пропонується облицьовувати сталеву поверхню алюмоматричними композитними плитками. Для формування таких багатошарових конструкцій доцільно застосовувати клейові композиції, до яких пред'являються вимоги радіаційної стійкості та гігроскопічності.

Виділення невирішених питань проблеми. Створенню нероз'ємного клейового з'єднання присвячено роботи [4-6], в яких визначаються переваги епоксидних клеїв, які здатні працювати в умовах випромінювання до 100 кГр. Через низьку температуру склування, тривалість твердіння, деструкційні процеси, їх застосування в умовах суднобудівного виробництва обмежено. Крім того, впровадження полімерних матеріалів у суднобудування повинно відповідати вимогам пожежної безпеки [7]. Наведені в роботі [8] результати показують перспективу використання епоксидно-діанових смол, а саме ЕД-20, для виготовлення компаундів, які застосовуються в процесах

тривалого зберігання радіоактивних відходів. Додавання вузькоспеціальних властивостей полімерним композиціям можливо шляхом введення до складу наповнювачів, зокрема порожніх скляних мікросфер (ПСМ) [9]. В роботах [10, 11] використання епоксидних композицій на основі ЕД-20 і ПСМ розглядається для одержання блоків плавучості підводних технічних засобів. Але доцільність застосування аналогічних композицій для формування конструкцій біологічного захисту суден ще не визначена та потребує проведення подальших досліджень.

Мета та задачі роботи

Мета роботи – розвиток технології формування шаруватих конструкцій за допомогою клейового з'єднання та аналіз можливостей експлуатації в умовах пожежонебезпечної ситуації на судні. Відповідно до поставленої мети визначено наступні задачі:

- вибір складу та способу виготовлення клейової композиції;
- дослідження структури та визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей, зокрема міцності зчеплення, горючості, деструкційних процесів в умовах термоциклічних навантажень;
- розробка практичних рекомендацій щодо формування нероз'ємного з'єднання Ст3 – алюмоматричний композиційний матеріал (КМ).

Виклад основного матеріалу.

Матеріали, виготовлення експериментальних зразків, методики дослідження. Для формування клейової композиції обрано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 2093-92) з температурою склування $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ та динамічною в'язкістю при температурі 25°C $\eta = 12 \dots 25$ Па·с. В якості затверджувача (10 % об'ємн.) обрано амінометилфенол УП-583Д (ТУ 6-05-241-331-82). З метою зниження щільності та теплопровідності до складу введено 40...60 % (об'ємн.) ПСМ марки МС-А9 (ТУ 6-48-108-94), об'ємний вміст яких обрано виходячи з рекомендацій [12], які забезпечують ефективне використання композицій в умовах вібрацій. Зразки клейової композиції виготовлено шляхом послідовного змішування протягом 20-30 хв епоксидної смоли ЕД-20 у об'ємній кількості 40...60 %, отверджувача УП-583Д (10 % об'ємн.) та ПСМ (40...60 % об'ємн.). Змішування компонентів відбувалося у змішувачі за допомогою лопат, дозування наповнювача здійснювалося об'ємним способом. За допомогою отриманої клейової композиції з'єднано два різні матеріали: пластинку Ст3 розміром 140 x 100 x 3,5 мм і плитку алюмоматричного матеріалу товщиною 10 мм, отриманого методом гарячого пресування порошку алюмінію з ПСМ.

Властивості клейової композиції досліджено на зразках, сформованих без підкладки. Щільність зразків визначено гідростатичним зважуванням за ГОСТ 25281-82, коефіцієнт теплопровідності – за допомогою вимірювача теплопровідності ИТ-Л-400. Мікроструктурні досліджен-

ня виконані з використанням методів оптичної мікроскопії за допомогою мікроскопу БИОЛАМ-И. Радіаційно захисні властивості визначали за результатами досліджень на рентгенівському джерелі випромінювання за методикою, викладеною в роботі [13], в якості критеріїв обрано: масовий коефіцієнт послаблення рентгенівських випромінювань (РВ) $\mu_{\text{мас}}$, який дорівнює відношенню лінійного коефіцієнту послаблення μ до щільності покриття ρ та свинцевий еквівалент $\delta_{\text{Рв}}$ – товщина шару матеріалу, яка забезпечує такий самий захист, як і пластинка свинцю товщиною 1 см. Щоб виключити вплив товщини, в роботі застосовано значення питомого свинцевого еквіваленту, який є відношенням $\delta_{\text{Рв}}$ до товщини зразку. Міцність зчеплення визначено експериментально за ГОСТ 14760-69* на зразках Ст3 – клейова композиція і алюмоматричний КМ – клейова композиція, для випробувань застосовано розривну машину ИР 5057-50, швидкість навантаження складала 2,5 мм/хв. Термостійкість клейових з'єднань досліджено експериментально у режимі нагрівання – охолодження. Нагрівання відбувалося до температури 300°C у лабораторній електропечі марки СНОЛ-1.6.2.08/9-М1, охолодження – при температурі 10°C у ванні місткістю 10 л. Після кожної тепломіни зразки висушували у сушильній шафі при температурі $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ протягом 10 хв. Експериментальні дослідження горючості клейової композиції проводили за ГОСТ 121.044-89: сталеві зразки з нанесеною клейовою композицією товщиною 5 мм піддавали дії відкритого полум'я з обох сторін, швидкість розповсюдження якого реєстровано за допомогою секундоміра, пошкоджуваність зразків визначали візуально та за результатами зважування на аналітичних терезах GR200.

Результати досліджень. Структура сформованої клейової композиції складається з безпористої полімерної матриці, в якій рівномірно розташовані порожні скляні мікросфери із середнім розміром 40 мкм (рис. 1). Результати досліджень властивостей наведено в табл. 1.

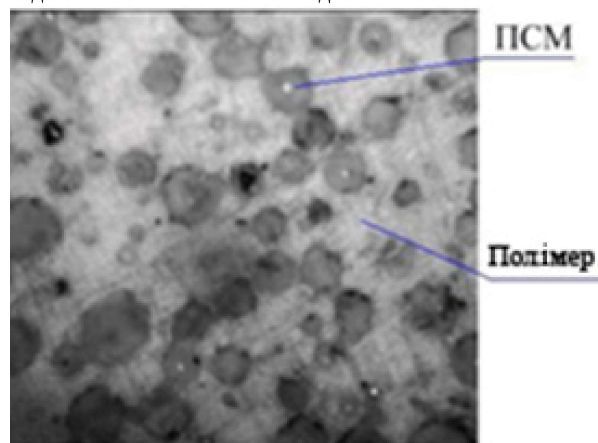


Рис. 1. Мікроструктура (x 350) клейової композиції ЕД-20 – ПСМ (50 % об'ємн.)

Таблиця 1

Властивості клейової композиції ЕД-20 – ПСМ	
Властивості	Об'ємне наповнення мікросферами композиції ЕД-20 – ПСМ
	40...60%
Щільність, кг/м ³	700...600
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м·К)	0,70...0,55
Масовий коефіцієнт послаблення РВ, см ² /г	0,6...7,0
Питомий свинцевий еквівалент δ'_{Pb}	0,12...0,15
Міцність зчеплення $\sigma_{\text{відр}}$, МПа: Ст3 алюмоматричні плити	9,5...8,0 13,0...11,0

Проведені дослідження довели, що фізико-механічні та рентгенозахисні властивості сформованої клейової композиції аналогічні сферопластам – композиційним матеріалам з полімерною матрицею, наповнених ПСМ [10-13]. Порівняння рентгенозахисних властивостей з іншими матеріалами [13] дозволяє використовувати клейову композицію ЕД-20 – ПСМ в умовах іонізуючих випромінювань. Міцність зчеплення з алюмоматричними зразками приблизно на 30 % перевищує $\sigma_{\text{відр}}$ зі Ст3, що пояснюється більш шорсткою поверхнею гарячепресованого

матеріалу.

Експериментально досліджено вплив підвищених температур та відкритого полум'я (рис. 2), які довели, що застосування клейового з'єднання в умовах підвищених температур обмежено через процеси деструкції, які починаються після другого термоциклу нагрівання/охолодження при температурах 300/10 °С та відбуваються без димовиділення та самозаймання. Експериментально встановлено, що після 11 термоциклів руйнування зразків не відбувається.

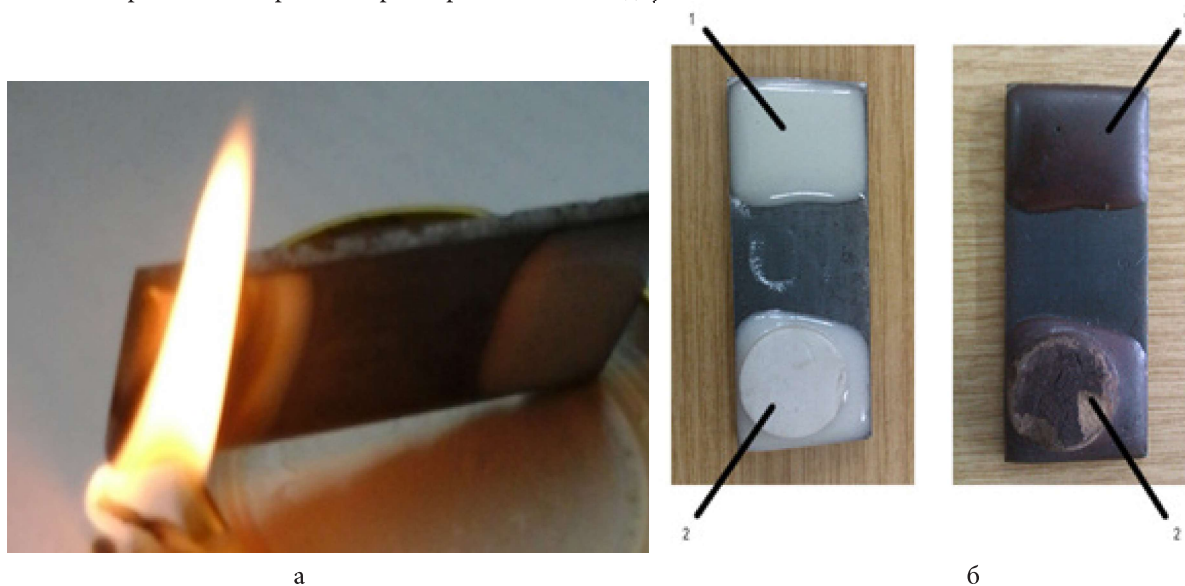


Рис. 2. Зразки під час випробувань: а – дії відкритого полум'я; б – на термостійкість (до та після 11 термоциклів): 1 – клейова композиція ЕД-20 – ПСМ; 2 – клейове з'єднання

Визначено, що процес горіння починається вже на 26-ій секунді та триває ще 100 с, кількість коксового залишку складає 80 %. Встановлено, що процес горіння не залежить від об'ємного вмісту ПСМ у складі композиції, а визначається термохімічними перетвореннями у полімерній матриці. Отримані результати підтверджуються досвідом, який викладено в роботах [14, 15]. Відповідно до загальноприйнятої класифікації [16] клейову композицію ЕД-20 – ПСМ можна віднести до важкогорючих помірно-небез-

печних матеріалів.

Обговорення результатів дослідження формування клейового з'єднання та практичні рекомендації щодо створення багат шарових конструкцій. Результати досліджень використано для розробки технологічних рекомендацій щодо виготовлення шаруватих конструкцій модульного типу; технологічну схему формування нероз'ємного з'єднання Ст3 – алюмоматричний КМ наведено на рис. 3.



Рис. 3. Технологічна схема формування нероз'ємного з'єднання при виготовленні шаруватих конструкцій модульного типу

На відміну від механічних кріплень застосування клейової композиції не порушує цілісності алюмоматричних плиток та не знижує герметичності з'єднань. У порівнянні з іншими аналогами на основі ЕД20 – ПСМ обраний спосіб та підібрана концентрація компонентів дозволяє варіювати в'язкість в діапазоні 16,0...8,5 Па·с і формувати композицію холодного твердіння, що є дуже важливим для технологій суднобудування.

Експериментальні дослідження термостійкості визначають здібність майбутньої конструкції витримувати короточасні температурні навантаження при виникненні пожежонебезпечних ситуацій на судні. Умови постановки експерименту задають інтенсивність теплових навантажень, але не враховують розмірів та форм зразків. Виходячи з того, що в реальних умовах експлуатації при виникненні аварійних ситуацій конструкції біологічного захисту не піддаються багаторазовому температурному навантаженню, проведені дослідження надають уявлення

про максимальний ресурс клейової композиції в умовах короточасних теплових змін.

Отримані результати впливу відкритого полум'я мають практичне значення для прогнозування руйнування конструкцій в умовах пожежі та можуть бути застосовані для порівняльної оцінки полімерних матеріалів.

Висновки та пропозиції

1. Для формування клейової композиції холодного твердіння обрано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (40...60 % об'ємн.), затверджувач УП-583Д (10 % об'ємн.), в якості наповнювача – порожні скляні мікросфери марки МС-А9 (40...60 % об'ємн.); композицію отримано змішуванням компонентів з холодним твердінням при кімнатній температурі протягом 24 годин.

2. Структура сформованої клейової композиції представляє собою полімерну матрицю з рівномірно розташованими порожніми скляними мікросферами з середнім розміром 40 мкм.

3. Сформована клейова композиція з об'ємним вмістом ПСМ 40...60 % має щільність 500...600 кг/м³, коефіцієнт теплопровідності 0,65...0,55 Вт/(м·К), міцність зчеплення з Ст3 складає 9,8...8,0 МПа, з алюмоматричними плитками 13,0...11,0 МПа, відноситься до важкогорючих помірно-небезпечних матеріалів.

4. Термоциклічні навантаження клейового з'єднання Ст3 – алюмоматричний КМ при теплоперепадах 300/10 °С супроводжуються деструкцією полімеру без димовиділення та займання, що підтверджує можливість експлуатації в умовах створення пожежонебезпечних ситуацій на судні.

5. Розроблено технологічну схему формування нероз'ємного з'єднання Ст3 – алюмоматричний КМ, яка дозволяє застосовувати клейову композицію холодного твердіння і виготовляти шаруваті модульні конструкції в умовах суднобудівного виробництва.

Список літератури

1. Інноваційні технології проектування та побудови суден і засобів океанотехніки / С. С. Рижков, В. С. Блінцов, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін та інші / під редакцією С. С. Рижкова. – Миколаїв : Видавництво НУК, 2009. – 356 с.
2. Барышников, М. В. Перевозка ОЯТ морским транспортом / М. В. Барышников, А. В. Худяков, В. М. Овсянников, В. И. Шлячков // Безопасность окружающей среды. – 2010. – № 1. – С. 98 – 105.
3. Казимиренко, Ю. О. Перспективи застосування металоскляних покриттів з підвищеними рентгенозахисними властивостями для конструкцій технічних засобів перевезення радіоактивних речовин / Ю. О. Казимиренко // Збірник наукових праць Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 2013, № 8. – С. 134 – 140.
4. Андрианов, А. Ю. Соединение разнородных компонентов конструкционного материала контейнера для радиоактивных отходов / А. Ю. Андрианов, А. В. Кулик, Д. А. Орлянский // Вісник Донецького національного університету. Сер. А: Природничі науки. – 2010, вип. 2 – С. 262 – 268.
5. Радиационная стойкость некоторых полимеров и эпоксидных клеев / С. Н. Гладких, В. В. Голиков, Г. Д. Кекелидзе, С. В. Мишин, В. Д. Пешехонов. – Дубна : Изд. отдел Объед инт-та ядерн. исслед, 2001. – 6 с.
6. Влияние мелкодисперсных наполнителей на износ эпоксидных и эпоксидно-каучуковых полимеров / В. В.

Золотарева, Т. И. Григоренко, Ю. С. Кочергин, Е. Э. Самойлова // Вісник національної академії будівництва і архітектури, 2013-1 (99). – С. 108 – 114.

7. Основы совершенствования пожарной безопасности в судостроении: Монография / А. С. Рашковский, С.А. Рашковский, Н.П. Романчук, Н.И. Поступальский, В.Ф. Слепченко. – Николаев: НУК, 2007. – 321 с.

8. Лобанов, Н. С. Эпоксидные компаундные консерванты для радиоактивных отходов / Н. С. Лобанов, О. К. Чугунов, О. А. Зиновьев // Наукоемкие технологии, 2005. – № 5. – С. 60 – 68.

9. Li, G. and John, M. (2008). A crumb rubber modified syntactic foam. Materials Science and Engineering: A, 474(1-2), pp.390-399.

10. Бурдун, Е. Т. Оценка влияния повреждаемости сферопластика на изменение его теплопроводности / Е. Т. Бурдун, Т. А. Юреско // 36. Наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2007. – № 6 (417). – С. 102 – 109.

11. Юреско, Т. А. Сферопластики с дополнительной пористостью как теплоизоляционные материалы / Т. А. Юреско, Е. Т. Бурдун // Международный научно-технический сборник. – Днепропетровск : ДГАУ, 2007. – Т.1. – № 1. – С. 35 – 38.

12. Черкасов, В. Д. Пути повышения демпфирующих свойств вибропоглощающих покрытий на основе неотверждаемых герметиков / В. Д. Черкасов, Ю. В. Юркин // Актуальные вопросы строительства: Материалы Международной научно-технической конф. – Саранск, 2005. – Вып. 9. – С. 430 – 433.

13. Исследование ослабления ионизирующего излучения композиционными материалами / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, С. И. Шкурат, А. А. Жданов // 36. наук. праць НУК: Миколаїв : НУК, 2009. – Вип. № 2 (425). – С. 105 – 109.

14. Тригуб, С. Н. Оценка показателей пожарной опасности полимерных композиционных материалов в судостроении / С. Н. Тригуб // Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2012, № 1 (6). – С. 322 – 331.

15. Афанасенко, К. А. Влияние полимерных связующих, склонных к интенсивному коксообразованию, на показатели горючести композиционных материалов / К. А. Афанасенко, А. П. Михайлюк // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ. – 2012. – Вып. 32. – С. 7 -12.

16. Киссам, Б. Пожарная безопасность на судах: Пер. с англ. / Б. Киссам. – Л. Судостроение, 1985. – 407 с.