

A. B. Maximov

INVESTIGATION OF PLASTIC DEFORMATION UNDER CYCLIC TENSION-COMPRESSION

Представлені дані про зміну пластичних характеристик сталі при деформації зразків у одному напрямку і циклічному за жорсткою схемою навантаження.

Ключові слова: деформація, розтягнення, стиснення, циклічність, об'єм, пластичність, коефіцієнт поперечної деформації.

Changes of steel plastic characteristics during uni-directional samples deformation under cyclic loading on a rigid scheme data was presented.

Key words: deformation, tensile, compression, cyclicity, volume, plasticity, coefficient of transverse strain.

УДК 678.5-419.4:666.189.2

Д-р техн. наук Л. Р. Вишняков, О. В. Нешпор, канд. техн. наук О. В. Мазна,
канд. техн. наук Б. М. Сінайський

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ

УДАРНА СТІЙКІСТЬ ПРИ ШВИДКІСНИХ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ СКЛОПЛАСТИКІВ ІЗ ЕПОКСИДНОЮ МАТРИЦЕЮ

Досліджено вплив співвідношення олігомер/отверджувач в епоксидному зв'язуючому на механічні властивості та ударну стійкість склопластиків при високошвидкісному ударному навантаженні. Показано, що збільшення вмісту отверджувача в епоксидному зв'язуючому (до 20 мас. %) збільшує ударну в'язкість композитів.

Ключові слова: композиційний матеріал, полімерна матриця, склопластик, епоксидне зв'язуюче, ударна стійкість.

Вступ

Відомо, що полімерні композиційні матеріали (ПКМ) мають високі функціональні можливості для експлуатації в екстремальних умовах [1, 2]. При створенні таких композитів особливо важливе значення надається природі та характеристикам матеріалу матриці (зв'язуючого). Саме матриця в ПКМ сприймає зовнішнє навантаження та передає його наповнювачу. Разом з тим матриця повинна перешкоджати росту тріщин, які з'являються при руйнуванні волокон [3]. Тому підвищення здатності матеріалу матриці ПКМ до пластичної деформації при збереженні міцності та модуля пружності композиту є актуальною проблемою.

Для армування ПКМ використовують різні види органічних та неорганічних волокон, ниток та волокнистих матеріалів на їх основі. Так, ПКМ на основі арамідних тканин за міцністю, ударною стійкістю і низькою вагою мають одні з найкращих захисних властивостей. У той же час композити на основі скловолокон, що також широко використовують у техніці як ударостійкі матеріали, мають привабливе поєднання

високих механічних характеристик та низької вартості скляних волокон.

Як правило, склопластики на основі термореактивних смол, а саме епоксидних, відрізняються високими показниками міцності [4]. В залежності від хімічної структури епоксидних смол, які використовують як зв'язуюче, а також типу отверджувача та співвідношення олігомер/отверджувач властивості склопластиків можуть варіюватися в широких межах [5]. Метою цієї роботи було дослідження впливу складу епоксидного зв'язуючого на механічні властивості склопластиків та визначення впливу співвідношення олігомер/отверджувач на ударну стійкість при високошвидкісному ударному навантаженні.

Матеріали та методи дослідження

Об'єктами досліджень були полімерні композиційні матеріали на основі склотканини TG- 660 (120) (скло типу E) сатинового плетіння з поверхневою густиною 663,4 г/м². Як матрицю для склопластиків використовували епоксидно-діанову смолу марки ЕД 20

(ГОСТ 10587-84) з масовою долею епоксидних груп 20,0-22,5 %. Як отверджувач епоксидної смоли було використано поліетиленполіамін (ТУ 2413-357-00203447-99).

У роботі з метою дослідження впливу хімічної структури епоксидної композиції на властивості ПКМ були застосовані декілька певних співвідношень олігомер/отверджувач: вміст отверджувача у зв'язуючому становив 10, 15 та 20 мас. %. Кількість зв'язуючого була розрахована для одержання композиту із вмістом матриці – 35 % мас. смоли. Пакет заготовок із просоченої смолою склотканини формували та отверджували під тиском у роз'ємній формі з обмежувачами по розрахованому об'єму в сушильній шафі. Зважаючи на те, що епоксидні термореактивні зв'язуючі холодного твердіння, як правило, утворюють ПКМ з меншою монолітністю та з нижчим рівнем властивостей, в роботі проводили термічне отвердження досліджуваного зв'язуючого.

Режим формування вели в такій послідовності: підняття температури до 90 °С та ізотермічна витримка протягом 2 годин; підняття температури до 120 °С та ізотермічна витримка протягом 2 годин; охолодження під тиском у шафі до кімнатної температури.

Визначення механічних властивостей та ударної міцності отриманих зразків ПКМ проводили не раніше, ніж через 7 діб.

Визначення механічних характеристик розроблених матеріалів проводили за стандартними методиками. Розміри і кількість зразків на кожен вид випробувань відповідали стандартам: при розтягу – за ГОСТ 9550-81, при стиску – за ГОСТ 4651-82, при згині – за ГОСТ 4648-71, при зсуві – за ОСТ 1 90032-71, при ударному згині – за ГОСТ 4647-80.

Ударну стійкість отриманих ПКМ визначали при швидкісних імпульсних навантаженнях за спеціальною стандартною методикою шляхом визначення позаперешкодної деформації. Кількісною характеристикою позаперешкодної деформації слугував приведений об'єм вм'ятини в підтримувальному матеріалі (пластиліні), який розраховували за формулою (1), запропонованою авторами в [6]:

$$V' = V \frac{v_{um.}}{v_{\delta}}, \quad (1)$$

де V' – приведений об'єм вм'ятини, см³;

V – вимірний об'єм вм'ятини, см³;

v_{um} – штатна швидкість індентора, що дорівнювала 315 м/с;

v_{δ} – дійсна швидкість індентора, м/с;

Об'єм вм'ятини визначався за виразом:

$$V = \pi h^2 \left(\frac{1}{2} h + \frac{d^2}{8h} - \frac{1}{3} h \right), \quad (2)$$

де h – глибина вм'ятини, см;

d – діаметр вм'ятини, см.

Аналіз отриманих результатів

Результати визначення механічних характеристик отриманих композитів показані на рисунках 1–5 та таблиці 1. Встановлено, що зі збільшення вмісту отверджувача від 10 % (стехіометричного) до 20 % відбувається зниження механічних характеристик склопластику, проте його ударна в'язкість збільшується (з 194 кДж/м² до 210 кДж/м²).

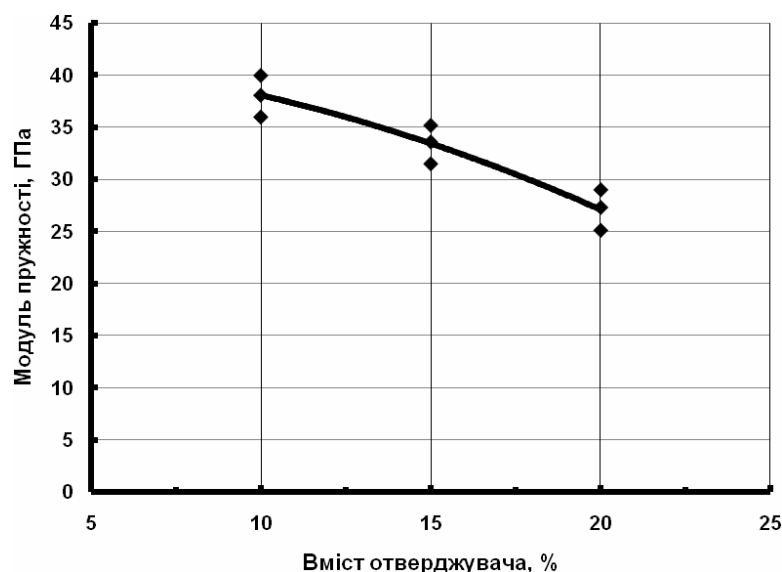


Рис. 1. Залежність модуля пружності при розтягу склопластика від вмісту отверджувача

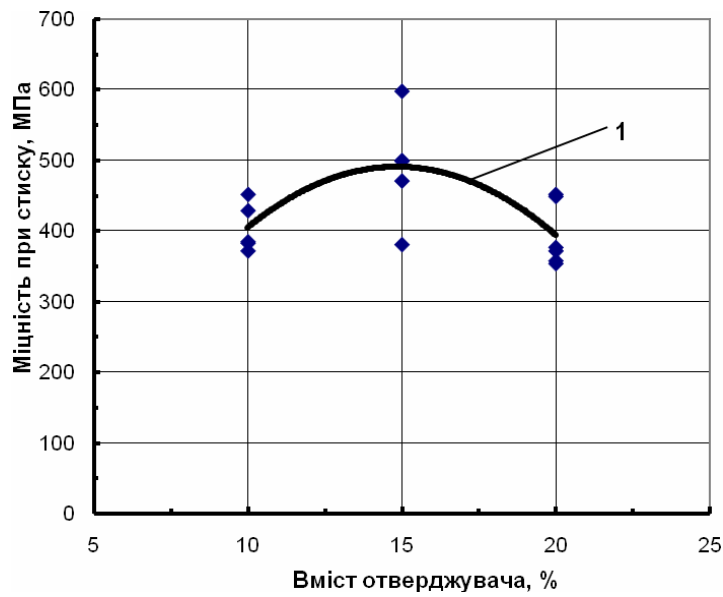


Рис. 2. Залежність міцності при стиску склопластика від вмісту отверджувача

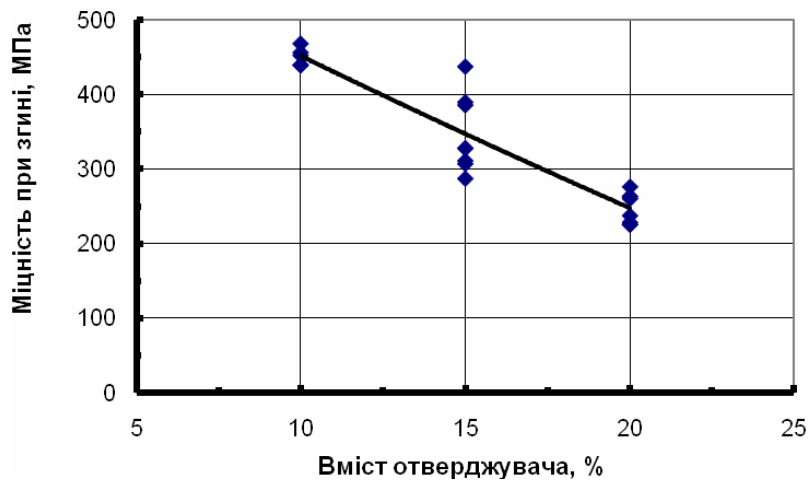


Рис. 3. Залежність міцності при згині склопластика від вмісту отверджувача

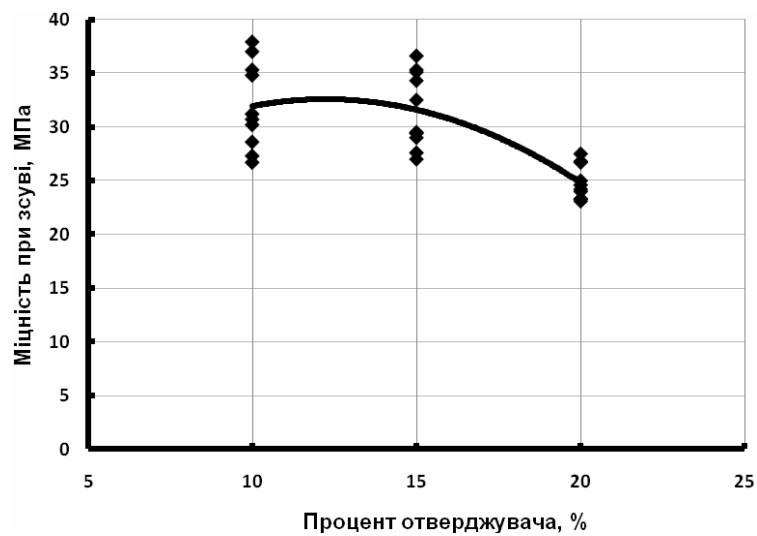


Рис. 4. Залежність міцності при зсуві склопластика від вмісту отверджувача

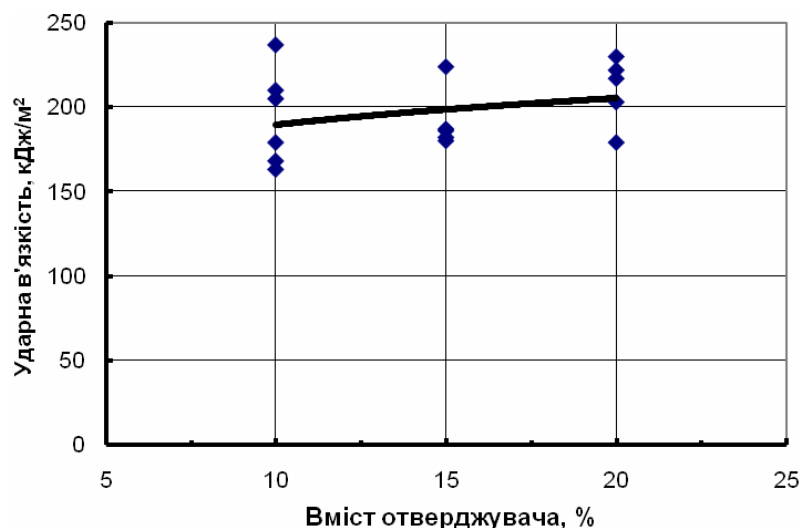


Рис. 5. Залежність ударної в'язкості склопластика від вмісту отверджувача

Таблиця 1 – Механічні властивості склопластиків залежно від вмісту отверджувача в епоксидному зв'язуючому

| Вміст отверджувача | Механічні властивості | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----------------------|-------|------------|---------------------|--------------|------------------------|---------------------|-------|-----------------|--------------------|-------|---------------|--------------------------|-------|------------|
| | E , ГПа | | | $\sigma_{ст}$, МПа | | | $\sigma_{зг}$, МПа | | | $\tau_{зсв}$, МПа | | | a , кДж/м ² | | |
| | \bar{E} | S_E | $E_{0,95}$ | $\bar{\sigma}_{ст}$ | S_E | $\sigma_{0,95}$ | $\bar{\sigma}_{зг}$ | S_E | $\sigma_{0,95}$ | $\bar{\tau}_{зсв}$ | S_E | $\tau_{0,95}$ | \bar{a} | S_E | $a_{0,95}$ |
| 10 % | 38,0 | 1,6 | 35,1-40,9 | 404 229 | 30,8 229 | (361-446) (216-242) | 452 | 11,0 | 437-467 | 32,0 | 3,8 | 27,6-36,4 | 194 | 26,1 | 164-224 |
| 15 % | 33,4 | 1,5 | 30,7-36,1 | 490 248 | 69,4 16,4 | (394-585) (225-271) | 347 | 48,5 | 304-390 | 31,6 | 3,3 | 29,1-34,1 | 194 | 17,4 | 170-218 |
| 20 % | 27,3 | 1,6 | 24,2-30,2 | 393 193 | 40,9 15,0 | (346-440) (176-210) | 247 | 19,2 | 230-264 | 24,8 | 1,5 | 23,7-25,9 | 210 | 17,9 | 185-235 |

Примітка: 1. E – модуль пружності, $\sigma_{ст}$ – міцність на стиск, $\sigma_{зг}$ – міцність на згин, $\tau_{зсв}$ – міцність на міжшаровий зсув, a – ударна в'язкість, \bar{E} – середньоарифметичне значення, S_E – середньоквадратичне відхилення, $E_{0,95}$ – 95 % довірчий інтервал.
2. У чисельнику значення міцності при стиску поперекармувальних шарів, у знаменнику – продовж шарів.

Такий характер отриманих властивостей ПКМ можна пояснити тим, що вміст отверджувача викликає зміну просторової структури полімеру, а саме – перемену щільності утворюваної полімерної сітки. Відомо, що затверділі епоксидні зв'язуючі являють собою аморфні тримірні полімери, ланки або ланцюжки яких поєднані між собою в поліфункціональних вузлових точках (хімічних вузлах), утворюючи єдину просторову сітчасту структуру – полімерну сітку [7]. Щільність сітки визначається довжиною ланцюжка між реакційноздатними групами олігомерів, функціональністю олігомерів та отверджувачів і ступенем конверсії реакційноздатних груп (ступенем отвердження). Епоксидні зв'язуючі, які отверджені амінами, являють собою, як правило, густосітчасті полімери, що містять оксиамінні та прості

ефірні групи, які додають гнучкість ланкам макромолекул. При цьому максимальна щільність полімерної сітки спостерігається при стехіометричному співвідношенні олігомерів (смоли) та отверджувача [5, 7]. У випадку недостатньої кількості отверджувача зменшується частота хімічних вузлів сітки, а при надлишковій кількості отверджувача може виникати пластифікувальний ефект, який саме і може впливати на ударну стійкість ПКМ.

Показники ударної стійкості зразків склопластиків (рис. 6) залежно від вмісту отверджувача при швидкісних імпульсних навантаженнях наведені в табл. 2. Випробувані зразки панелей, які були навантажені інденторами зі швидкістю 296–310 м/с (табл. 2), свідчать про зменшення зон руйнування при 20 мас. % отверджувача. Подібні результати були отримані в [8, 9].

Таблиця 2 – Ударна стійкість склопластиків

| Вміст отверджувача, % мас. | Глибина вм'ятини, см | Діаметр вм'ятини, см | Швидкість індертору, м/с | Приведений об'єм вм'ятини, см ³ | Приведеного об'єм вм'ятини (середнє значення), см ³ |
|----------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|--|--|
| 10 | 1,0 | 6,3 | 308 | 16,4 | 12,5 |
| | 0,9 | 4,8 | 303 | 8,8 | |
| | 1,0 | 5,4 | 305 | 12,3 | |
| 15 | 1,1 | 5,1 | 307 | 12,6 | 13,5 |
| | 1,2 | 5,3 | 297 | 15,14 | |
| | 1,0 | 5,4 | 296 | 12,7 | |
| 20 | 0,9 | 5,2 | 301 | 10,3 | 10,7 |
| | 1,1 | 4,9 | 310 | 11,2 | |
| | 1,0 | 5,0 | 305 | 10,6 | |



a



б



в

Рис. 6. Зразки склопластиків після випробувань на епоксидному зв'язуючому з вмістом отверджувача:

a – 10 %, *б* – 15 %, *в* – 20 %

Таким чином, в досліджуваних композитах продемонстрована менша позаперешкодна деформація, а площа зон руйнування (розшарування) на тильному боці пластин є малою. Саме це становить певну привабливість для практичного застосування склопластиків.

Висновки

Проведені дослідження показали, що склад епоксидного зв'язуючого, а саме співвідношення олігомер/отверджувач впливає на механічні властивості склопластиків. Збільшення вмісту отверджувача в епоксидному зв'язуючому спричиняє зниження механічних характеристик склопластику і разом з тим збільшує його ударну в'язкість. Це приводить до зростання ударної стійкості при швидкісному ударному навантаженні.

Перелік посилань

1. Перепелкин К. Е. Полимерные волокнистые композиты, их основные виды, принципы получения и свойства / Перепелкин К. Е. // Химические волокна. – 2005. – № 4. – С. 7–22.
2. Нешпор А. В. Ударопрочные слоистые полимерные композиционные материалы / Нешпор А. В., Вишняков Л. Р., Мазная А. В. // Технологические системы. – 2009. – № – С. 20–24.
3. Михайлин Ю. А. Связующие для полимерных композиционных материалов Михайлин Ю. А., Кербер М. Л., Горбунова И. Ю. // Пластические массы. – 2002. – № 2. – С. 14–21.
4. Забашта В. Ф. Полимерные композиционные материалы конструкционного назначения / Забашта В. Ф., Кривов Г. А., Бондарь В. Г. – К. : Техніка, 1993. – 160 с.
5. Зайцев Ю. С. Эпоксидные олигомеры и клеевые композиции / [Зайцев Ю. С., Кочергин Ю. С., Пактер М. К., Кучер Р. В.]. – К. : Наук. думка, 1990. – 200 с.
6. Вишняков Л. Р. Дослідження конструктивно-технологічних факторів для розробки високоенергостійких бронееlementів на основі кераміки / [Вишняков Л. Р., Мазная А. В., Нешпор О. В. и др.] // Проблемы прочности. – 2004. – № 6. – С. 43–47.
7. Смотровая С. А. Исследование жесткоцепных и демпфирующих характеристик эпоксидных связующих применяемых для изготовления динамически подобных моделей / Смотровая С. А. // Пластические массы. – 2002. – № 1. – С. 15–18.
8. L. M. Nunes Evaluation of the damaged area of glass-fiber-reinforced epoxy-matrix composite materials submitted to ballistic impacts / L. M. Nunes, S. Paciornik, J.R.M. d'Almeida // Composites Science and Technology. – 2004. – Vol. 64. – P. 945–954.
9. J.E.L. da Silva Jr Determination of the post-ballistic impact mechanical behavior of a $\pm 45^\circ$ glass-fabric composite / J.E.L. da Silva Jr, S.Paciornik, J.R.M. d'Almeida // Polymer Testing. – 2004. – Vol. 23. – P. 599–604.

Одержано 12.01.2010

L. R. Vishnyakov, A.V. Neshpor, A. V. Maznaya, B. M. Sinayskiy

IMPACT RESISTANCE TO HIGH IMPACT LOADING OF GLASS-EPOXY MATRIX

Исследовано влияние соотношения олигомер/отвердитель в эпоксидном связующем на механические свойства и ударную стойкость стеклопластиков при высокоскоростном ударном нагружении. Показано, что увеличение содержания отвердителя в эпоксидном связующем (до 20 мас. %) увеличивает ударную вязкость композитов.

Ключевые слова: композиционный материал, полимерная матрица, стеклопластик, эпоксидное связующее, ударная стойкость.

The oligomer to solidifier ratio in an epoxy binder was investigated in terms of its influence on the mechanical properties and the impact resistance of glass fiber plastics at high-velocity impact loading. It was shown that the solidifier content increase in the epoxy binder (up to 20 wt. %) increases the composite fracture toughness.

Key words: composite material, polymer matrix, glass fiber plastics, epoxy binder, impact resistance.