

УДК 681.5

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИНАМІЧНИХ, ЦИКЛІЧНО-ЗМІННИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Кравцова Л.В., Алексенко В.Л., Богдан А.П.
Херсонська державна морська академія (Україна)

Вступ. Необхідність створення нових композиційних полімерних матеріалів зумовлена зростанням вимог до експлуатаційних характеристик сучасних матеріалів, розширенням області та умов їх застосування. Додавання у полімерну матрицю на основі епоксидних смол різних наповнювачів дозволяє отримувати широкий діапазон композицій. У цьому аспекті актуальними являються шляхи зміцнення полімеркомпозитних матеріалів з наповнювачами при застосуванні їх, як елементів, які працюють в умовах знакозмінних навантажень, вібрації, підвищеного тертя [1-3]. Метою даних експериментальних досліджень являється вивчення впливу циклічно-змінних навантажень на властивості полімерного композиційного матеріалу, наповненого частинками мікрослюди МС-20-80.

Матеріали і методи досліджень. Основу матеріалу (матрицю) досліджуваних зразків складає епоксидний діановий олігомер марки ЕД – 20.

Матеріал наповнювача – мікрослюда фракціонована серії «Стандарт» (ISO 3262-12:2001, Extenders for Paints. Specifications and Methods of Test. Part 12. Muscovite-Type Mica) марки МС-20-80. Вибір матеріалу наповнювача обумовлений умовами його застосування для елементів які працюють зі знакозмінними навантаженнями, під впливом вібрації, тощо.

Епоксидний КМ сформований за наступною технологією: на 100 мас.ч епоксидного олігомеру ЕД-20 добавлено 30 мас.ч мікрослюди МС-20-80 після чого проведено гідродинамічне суміщення епоксидного олігомеру та мікрослюди упродовж $t = 5 \pm 0,1$ хв; введення твердника ПЕПА у кількості 10 мас.ч та перемішування композиції упродовж $t = 5 \pm 0,1$ хв; витримання композиції на повітрі впродовж часу $t = 24$ год; підігрівання композиції до температури $T = 393$ К і її витримання при даній температурі впродовж часу $t = 2$ год; охолодження композиції і її витримання на повітрі впродовж часу $t = 24$ год.

Випробування на згинання проводилось на розробленому експериментальному стенді (рис. 1) з двома опорами і оправкою (треточкова схема).

Вимірювання прогину виконувалось за допомогою електронного індикатора (digital indicator 0.01mm/0.0005", measuring range: 0~12.7mm/0.5") з виведенням даних на комп'ютер та збереженням у форматі таблиці Excel. Вимірювання розмірів зразка виконувалось за допомогою штангенциркуля "Торех" з точністю вимірювання до 0,01 мм.

Випробовування на згинання полягає в тому, що зразок прямокутного поперечного перерізу з габаритами $L \times B \times H = 120 \times 15 \times 10$ мм піддається пластичній деформації згинанням без зміни напрямку прикладення зусилля до досягнення заданого кута згину[3].

Проведення експерименту відбувалося наступним чином:

1. Випробування виготовлених зразків №№ 7-9 при рівномірному зростаючому навантаженні (через рівні проміжки часу) від 0 кг до повного руйнування зразка. Вимірювання деформації (прогину) виконувалось при кожному додаванні вантажу.

2. Випробування виготовлених зразків №№ 3-5 при циклічно-змінних навантаженнях. Навантаження відбувалося циклічно та покроково вантажами масою 1 кг кожні 15 с (швидкість навантаження 10 Н кожні 15 с). У першому циклі навантаження від 0 до 1 кг і розвантаження до 0, кожний наступний цикл навантаження збільшувалося додатково на 1 кг по відношенню до попереднього вантажу і так до повного руйнування зразка (20-25 циклів). Вимірювання величини деформації, прогину зразків виконувались кожні 15 с.

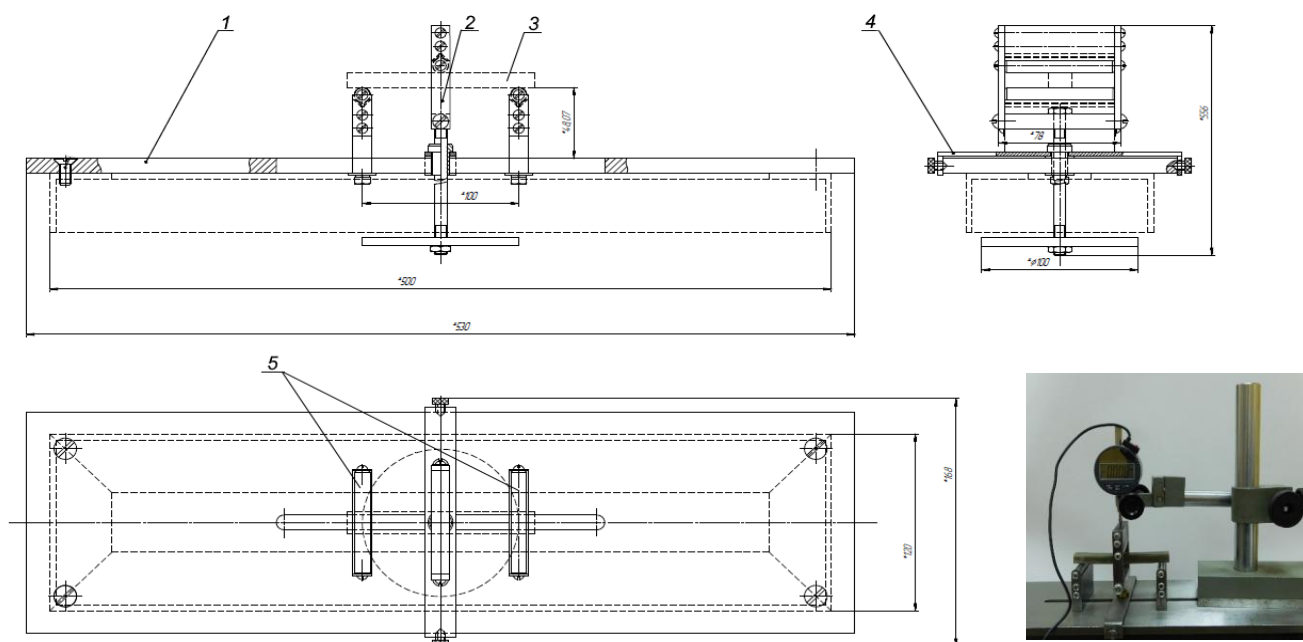


Рисунок 1 – Експериментальна установка – пристрій для випробування на згинання:
 1 – станина; 2 – навантажувальний пристрій; 3 – досліджуваний зразок; 4 – фіксатор;
 5 – опорна призма з роликом

Результати експериментів і їх обговорення. В реальних умовах кожна точка поверхні досліджуваного зразка підлягає певному тиску зі сторони зовнішніх сил, тобто сприймає навантаження. Ці навантаження мають знаковмінний характер, то збільшуються, то зменшуються. Вимірювання деформації зразка, проведені при періодичній зміні діючих на нього навантажень, дозволяють визначити характеристики його міцності. Аналіз цих характеристик в свою чергу дає можливість побудови аналітичної залежності деформації поверхні зразка відносно діючого на нього навантаження. Як було зазначено вище у якості зразка розглядається епоксидний КМ з добавками мікрослюди. У результаті тривалого експерименту, що проводився над однотипними зразками, отримані графіки і таблиці відповідності навантаження, що діє на зразок і величини його деформації.

Діаграми циклів навантаження приведені на рис. 2. на якому зображені діаграми навантаження зразків № 3-5, піки ілюструють максимальний прогин зразка при максимальному навантаженні за цикл, а кількість піків рівна кількості циклів, так, для зразка №3 (помаранчевий колір) руйнування відбулося на 20 циклі.

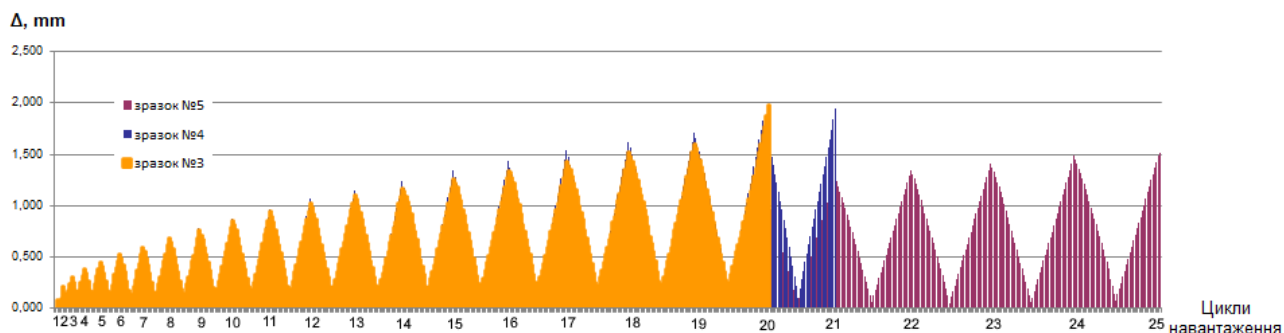


Рисунок 2 – Діаграми циклів навантаження-розвантаження зразків
 Фрагмент таблиці залежності деформації зразка від діючого на нього навантаження
 приведений на рис. 3

Наван.	Деформ.	Наван.	Деформ.	Наван.	Деформ.	Наван.	Деформ.	Наван.	Деформ.	Наван.	Деформ.
0	0,022	0	0,065	0	0,085	0	0,086	0	0,085	0	0,089
2,41	0,097	2,41	0,168	2,41	0,168	2,41	0,157	2,41	0,157	2,41	0,131
4,775	0,217	4,775	0,238	4,775	0,247	4,775	0,232	4,775	0,228	4,775	0,209
2,41	0,150	7,14	0,307	7,14	0,317	7,14	0,316	7,14	0,326	7,14	0,277
0	0,065	4,775	0,254	9,505	0,384	9,505	0,384	9,505	0,399	9,505	0,367
		2,41	0,178	7,14	0,337	11,845	0,448	11,845	0,461	11,845	0,430
		0	0,085	4,775	0,264	9,505	0,406	14,225	0,530	14,225	0,528
				2,41	0,176	7,14	0,341	11,845	0,486	16,605	0,589
				0	0,086	4,775	0,265	9,505	0,421	14,225	0,554
						2,41	0,173	7,14	0,356	11,845	0,487
						0	0,085	4,775	0,268	9,505	0,420
								2,41	0,177	7,14	0,336
								0	0,089	4,775	0,254
										2,41	0,164
										0	0,083

Рисунок 3 – Фрагмент таблиці залежності деформації (прогину) зразка від діючого на нього навантаження

З метою аналізу рівня міцності зразка побудовано матрицю стану (рис. 4), що показує динамічну залишкову деформацію зразка при його циклічно-змінному навантаженні. Значення деформації в матриці наглядно показує стан матеріалу зразка у реальних умовах.

Залишкова деформація																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
0	0	0,022	0,065	0,085	0,086	0,085	0,089	0,083	0,077	0,113	0,115	0,116	0,132	0,142	0,135	0,143	0,153	0,161	0,168	0,178
2,41	0,082	0,097	0,168	0,168	0,157	0,157	0,131	0,161	0,151	0,184	0,184	0,191	0,210	0,213	0,213	0,228	0,224	0,226	0,236	0,257
4,775		0,217	0,238	0,247	0,232	0,228	0,209	0,232	0,232	0,259	0,256	0,270	0,275	0,279	0,293	0,294	0,300	0,309	0,307	0,335
7,14			0,307	0,317	0,316	0,326	0,277	0,308	0,297	0,335	0,329	0,349	0,359	0,342	0,355	0,370	0,373	0,375	0,383	0,406
9,505				0,384	0,384	0,399	0,367	0,386	0,374	0,405	0,413	0,418	0,432	0,414	0,426	0,448	0,438	0,452	0,455	0,476
11,845					0,448	0,461	0,430	0,456	0,463	0,480	0,477	0,502	0,502	0,483	0,490	0,514	0,512	0,530	0,528	0,548
14,225						0,530	0,528	0,529	0,513	0,549	0,555	0,575	0,582	0,562	0,572	0,595	0,593	0,590	0,594	0,614
16,605							0,589	0,621	0,589	0,630	0,624	0,646	0,645	0,642	0,651	0,656	0,656	0,668	0,670	0,685
18,965								0,686	0,679	0,707	0,716	0,717	0,727	0,714	0,716	0,729	0,753	0,726	0,764	0,744
21,325									0,759	0,785	0,776	0,796	0,804	0,783	0,796	0,802	0,813	0,839	0,827	0,839
23,72										0,858	0,856	0,862	0,879	0,844	0,877	0,874	0,882	0,898	0,900	0,911
26,09											0,939	0,940	0,952	0,935	0,948	0,956	0,953	0,963	0,979	0,987
28,465												1,024	1,028	1,018	1,024	1,034	1,025	1,048	1,045	1,059
30,83													1,107	1,086	1,118	1,106	1,114	1,118	1,130	1,142
33,215														1,172	1,187	1,182	1,196	1,194	1,198	1,202
35,6															1,263	1,273	1,269	1,277	1,284	1,279
37,98																1,344	1,349	1,345	1,358	1,363
40,35																	1,425	1,431	1,435	1,445
42,73																		1,520	1,516	1,526
45,09		0,135	0,090	0,077	0,064	0,082	0,059	0,097	0,073	0,099	0,081	0,085	0,083	0,065	0,091	0,081	0,081	0,095	-0,004	1,600

Рисунок 4 – Фрагмент матриці стану, що показує динамічну остаточну деформацію зразка при його циклічно-змінному навантаженні

При рівномірно-зростаючому навантаженні зразків без повернень до нульового навантаження експеримент повторювався декілька разів, результати були ідентичні. Тому для отримання достовірних характеристик було вичислене середнє значення деформації кожного з досліджуваних зразків при відповідному навантаженні.

На основі матриці стану для зразків №№ 3-5 (циклічно-змінне навантаження) отримана матриця приросту деформації, звідки вичислено середній приріст деформації при навантаженні на зразок, що постійно змінюється (рис. 5).

Також розраховані прирости деформації при рівномірно-зростаючому навантаженні зразків «без повернень» №№ 7-9. За методом найменших квадратів отримані аналітичні залежності приростів у першому і другому випадках від величини навантаження.

Аналітичні залежності відносної деформації досліджуваних зразків від величини навантаження наведені на рис. 6

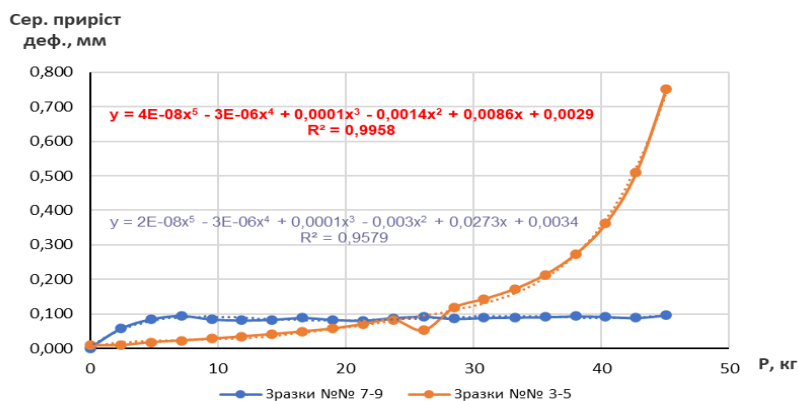


Рисунок 5 – Залежності середнього приросту деформації досліджуваних зразків від навантаження

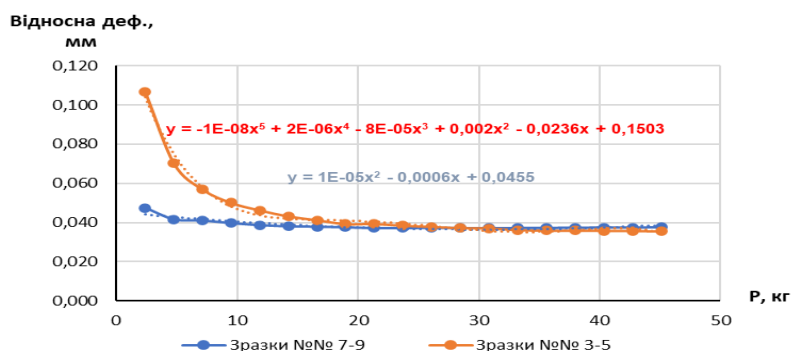


Рисунок 6 – Аналітичні залежності відносної деформації досліджуваних зразків від величини навантаження

Коефіцієнт кореляції у випадку рівномірно-зростаючого навантаження зразків «без повернень» №№ 7-9 склав 0,57; у випадку циклічно-змінних навантажень (зразки №№ 3-5) – 0,82. Це свідчить про те, що зразки, що підлягають знакозмінним навантаженням, більш відповідають реальним умовам на відміну від зразків з рівномірно-зростаючим навантаженням.

Представлений у доповіді матеріал являється частиною комплексного дослідження.

Висновки. На основі експериментальних досліджень встановлені залежності сили циклічно-змінних навантажень і відповідної деформації досліджуваних зразків. Отримані результати дозволяють зробити висновки, що зниження міцності зразків при циклічно-змінних навантаженнях відбувається більш інтенсивно на відміну від рівномірно зростаючого навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. Пособие / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин и др.; под ред. А.А. Берлина. СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
2. Стухляк П.Д. Епоксидно-діанові композити: технологія формування, фізико-механічні і теплофізичні властивості / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, О.І. Редько. – Тернопіль: Крок, 2011. – 165 с.
3. Букетов А.В. Епоксидні композити трибологічного призначення / А.В. Букетов, М.В. Браїло, В.Л. Алексенко. – Херсон: ХДМА, 2017. – 200 с.
4. ASTM D 790 – 03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials