

## УДК 681.5

**Л.В. Кравцова, канд. техн. наук, доцент, В.Л. Алексенко, ст. викладач, А.П. Богдан, асистент**  
Херсонська державна морська академія, Україна

### **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СТАТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ ПОЛІМЕРКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**L. Kravtsova, Ph.D., Assoc. Prof., V. Aleksenko, A. Bohdan**  
**EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE INFLUENCE OF STATIC LOADS ON THE STRENGTH OF POLYMERCOMPOSITE MATERIALS**

Сучасний технічний прогрес тісно пов'язаний із застосуванням значної кількості новітніх конструкційних матеріалів, серед яких широкого застосування набули полімеркомпозити. Завдяки своїм унікальним фізико-механічним, теплофізичним та експлуатаційним характеристикам (мала вага, висока питома міцність, теплостійкість, зносостійкість, корозійна стійкість, та ін.) полімеркомпозитні матеріали незамінні в багатьох галузях [1, 2].

У світлі широкого застосування полімеркомпозитів, дослідження впливу статичних навантажень на їх міцнісні характеристики залишається актуальним і в теперішній час, так як навантаження такого роду притаманні умовам експлуатації множини різних елементів конструкцій та устаткування [3, 4].

Метою даних експериментальних досліджень являється вивчення впливу статичних навантажень на властивості полімерного композиційного матеріалу, наповненого частинками мікрослюди МС-20-80. Вибір наповнювача зумовлений його активністю до хіміко-механічної взаємодії із зв'язувачем та власне його механічними та геометричними характеристиками для підвищення міцнісних та пружних властивостей композиту [3-5].

Основу матеріалу (матрицю) досліджуваних зразків складає епоксидний діановий олігомер марки ЕД – 20. У якості наповнювача вибрана мікрослюда фракціонована серії «Стандарт» (ISO 3262-12:2001, Extenders for Paints. Specifications and Methods of Test. Part 12. Muscovite-Tyре Міса) марки МС-20-80.

Епоксидний КМ сформований за наступною технологією: на 100 мас.ч епоксидного олігомеру ЕД-20 добавлено 30 мас.ч мікрослюди МС-20-80 та проведено гідродинамічне суміщення епоксидного олігомеру з мікрослюдою упродовж  $5 \pm 0,1$  хв; після введено твердник ПЕПА у кількості 10 мас.ч та здійснено перемішування композиції упродовж  $5 \pm 0,1$  хв; далі композиція витримувалася на повітрі впродовж доби з наступним підігріванням до температури  $T = 393$  К і витримуванням при даній температурі впродовж двох годин; заключною стадією було охолодження композиції і витримування на повітрі впродовж доби.

стенді (рис. 1) з двома опорами і оправкою (треточкова схема). На стенді зразок прямокутного поперечного перерізу з габаритними розмірами  $L \times B \times H = 120 \times 15 \times 10$  мм піддається пластичній деформації згинанням без зміни напрямку прикладення зусилля до досягнення заданого кута згину [6].

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.

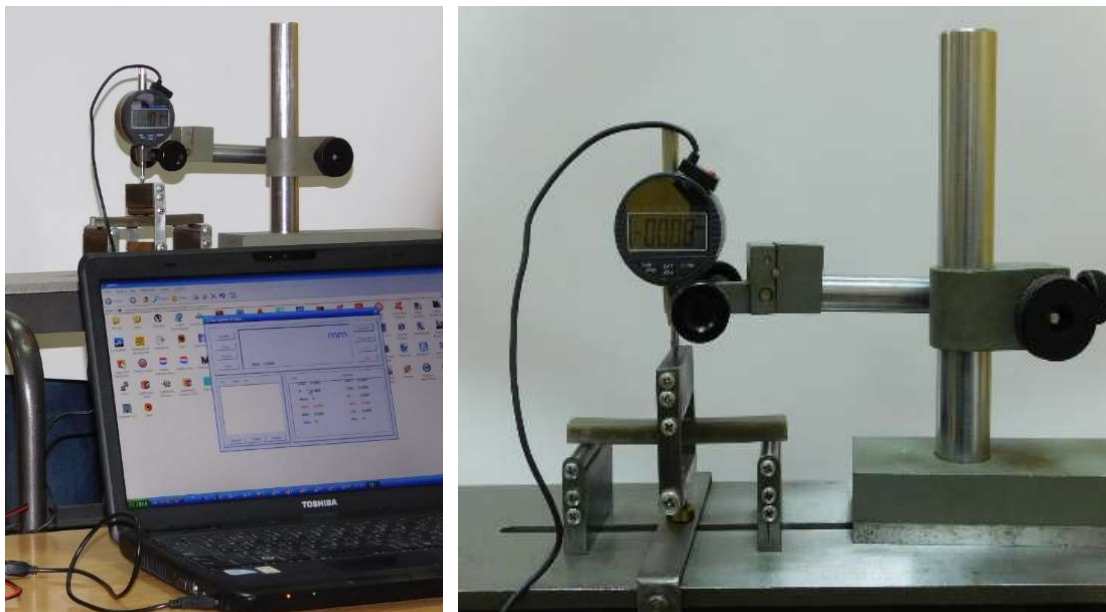


Рис. 1. Загальний вигляд розробленого експериментального стенду для випробування зразків на згинання

Проведення експериментів відбувалося у два етапи. На першому етапі три зразки (№№ 1, 2, 3) випробовували з метою встановлення кінця пружної деформації. Навантаження відбувалось від 0 до повного руйнування зразка. Вимірювання деформації (прогину) виконувалось при кожному додаванні вантажу. За результатами досліджень встановлено напруження, що виникають у кінці пружної деформації і відповідне навантаження, що викликає ці напруження.

На другому етапі за результатами першого етапу досліджувались 5 зразків (№№ 4, 5, 7, 8, 9). Зразки навантажувались до навантаження 45 кг (кінець пружної деформації) і витримувались 24 години. Після чого розвантажувались до 0 і повторно навантажувались від 0 до повного руйнування зразка.

Отже, після добової витримки зразків під навантаженням, було проведено випробування 5 однотипних зразків за однією схемою від 0 кг до повного руйнування. Навантаження зразків здійснювалось рівномірно, водночас вимірювалася деформація кожного зразка та результати вимірювань заносилися в таблицю Excel. Аналіз отриманих результатів привів до висновків ідентичності поведінки зразків, але у результатах присутні деякі розбіжності показників за зразками, пов'язані з впливом випадкових зовнішніх факторів. Тому для подальшого аналізу залежності деформації зразка від навантаження було прийнято рішення застосувати деякі методи осереднення результатів спостереження за зразками.

В табл. 1 зведені експериментальні дані (стовпчик 1 – величина навантаження, стовпчики 2-6 – результати спостереження, тобто деформація зразків, стовпчики 7-11 – результати застосування методу «ковзаючого середнього» для показників деформації стовпчики 2-6.

Таким чином, можна стверджувати, що закон залежності деформації зразка від навантаження доцільно будувати для умовного зразка з осередненими показниками деформації (табл. 2).

Таблиця 1. Результати проведення і обробки експериментів

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Р, кг	№№ досліджуваних зразків					№№ умовних зразків					
	4	5	7	8	9	457	578	789	8910	91011	101112
Деформація (прогин) $\Delta$ , мм											
0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
2,410	0,065	0,060	0,144	0,117	0,082	0,090	0,107	0,114	0,096	0,093	0,104
4,775	0,175	0,117	0,234	0,197	0,165	0,175	0,183	0,199	0,179	0,174	0,186
7,140	0,259	0,169	0,319	0,307	0,253	0,249	0,265	0,293	0,270	0,256	0,269
9,505	0,345	0,225	0,410	0,384	0,337	0,327	0,340	0,377	0,349	0,334	0,348
11,845	0,434	0,283	0,490	0,463	0,421	0,402	0,412	0,458	0,429	0,412	0,424
14,225	0,514	0,346	0,572	0,545	0,506	0,477	0,488	0,541	0,509	0,490	0,502
16,605	0,587	0,408	0,661	0,640	0,587	0,552	0,570	0,629	0,593	0,570	0,584
18,965	0,681	0,461	0,750	0,718	0,669	0,631	0,643	0,712	0,673	0,648	0,662
21,325	0,779	0,521	0,835	0,790	0,753	0,712	0,715	0,793	0,752	0,727	0,740
23,720	0,874	0,576	0,927	0,874	0,841	0,792	0,792	0,881	0,836	0,809	0,822
26,090	0,969	0,641	1,014	0,978	0,926	0,875	0,878	0,973	0,926	0,893	0,908
28,465	1,072	0,702	1,089	1,075	1,011	0,954	0,955	1,058	1,013	0,974	0,989
30,830	1,153	0,759	1,178	1,162	1,100	1,030	1,033	1,147	1,097	1,054	1,070
33,215	1,245	0,819	1,263	1,258	1,188	1,109	1,113	1,236	1,185	1,137	1,153
35,600	1,344	0,885	1,355	1,347	1,279	1,195	1,196	1,327	1,274	1,223	1,239
37,980	1,430	0,946	1,446	1,448	1,366	1,274	1,280	1,420	1,363	1,307	1,325
40,350	1,538	1,010	1,533	1,547	1,454	1,360	1,363	1,511	1,454	1,393	1,412
42,730	1,623	1,075	1,620	1,634	1,545	1,439	1,443	1,600	1,539	1,476	1,494
45,090	1,711	1,140	1,717	1,732	1,638	1,523	1,530	1,696	1,631	1,563	1,583
47,440	1,835	1,204	1,810	1,830	1,728	1,616	1,615	1,789	1,725	1,653	1,673
49,815	1,953	1,285	1,916	1,935	1,826	1,718	1,712	1,892	1,826	1,752	1,774
52,200	2,000	1,350	2,009	2,041	1,922	1,786	1,800	1,991	1,916	1,836	1,859
54,565	2,000	1,409	2,111	2,138	2,021	1,840	1,886	2,090	2,000	1,916	1,939
56,930	2,000	1,488	2,225	2,274	2,120	1,904	1,996	2,206	2,099	2,007	2,035
57,930	2,000	1,511	2,276	2,350	2,210	1,929	2,046	2,279	2,163	2,062	2,084

Таблиця 2. Результати застосування методу «ковзаючого середнього» для показників деформації досліджуваних зразків

Р, кг	0	2,41	4,775	7,14	9,505	11,845	14,225	16,605	18,965	21,325	23,720
$\Delta$ , мм	0,001	0,104	0,186	0,269	0,348	0,424	0,502	0,584	0,662	0,740	0,822

Продовження таблиці 2

Р, кг	26,090	28,465	30,830	33,215	35,600	37,980	40,350	42,730	45,090	47,440
$\Delta$ , мм	0,908	0,989	1,070	1,153	1,239	1,325	1,412	1,494	1,583	1,673

Продовження таблиці 2

Р, кг	49,815	52,200	54,565	56,930	57,930
$\Delta$ , мм	1,774	1,859	1,939	2,035	2,084

За даними таблиці 2 за методом найменших квадратів було визначено, що з ймовірністю 99 % залежність деформації від навантаження є лінійною залежністю

$y = 0.0354 \times x - 0,0023$  (рис. 2). Отримана залежність дозволяє розраховувати деформацію зразка для будь-якого навантаження в діапазоні від 0 до 58 кг.

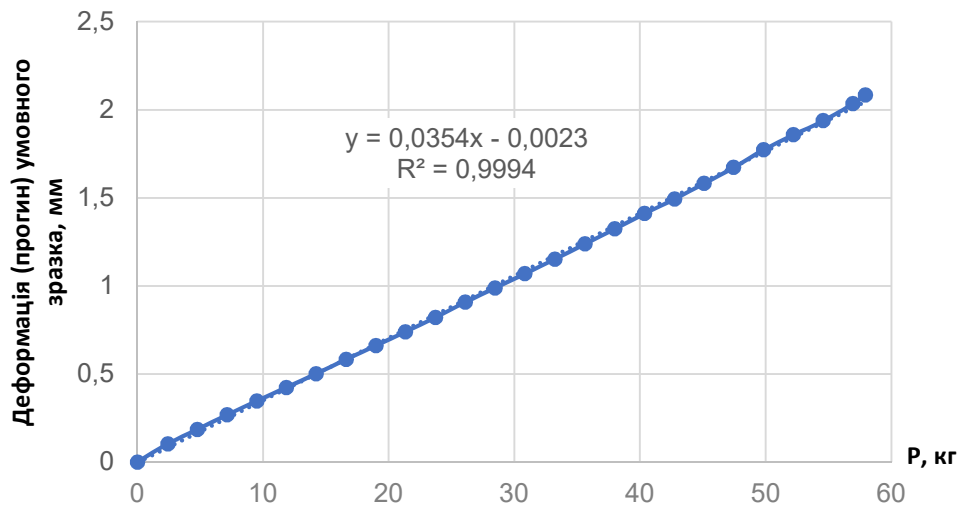


Рис. 2. Залежність деформації (прогину) умовного зразка від навантаження

Результати спостереження доводять, що статично навантажені зразки, що витримані протягом доби під навантаженням, мають кращі показники міцності та пружності, ніж зразки, які не піддавалися витримці.

Представлений у доповіді матеріал являється частиною комплексного дослідження.

### 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. Landel, R.F., Nielsen, L.E.: Mechanical properties of polymers and composites. CRC press, 1993.
4. Gibson, R.F. ed: Principles of Composite Material Mechanics, Fourth Edition. CRC Press, 2016.
5. Gan D., Lu S., Song C., Wang Z. Mechanical properties and frictional behavior of a mica-filled poly(aryl ether ketone) composite. // Eur. Polym. J. – 2001. 37. – P. 1359-1365.
6. ASTM D 790 – 03 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials.