

вирізняють регулятори тиску з прямим потоком (див. рис.1, а) та регулятори тиску зі зворотнім потоком (див. рис.1, б). Аналізуючи природу дії гідродинамічної сили за даними схемами, приходимо до висновку, що вона може мати двозначний вплив на статичні характеристики (як негативний, так і позитивний). Таким чином, вона протидіє роботі регулятора при прямому потоці і навпаки допомагає при зворотному потоці.

У наведених розрахунках гідродинамічна сила не враховувалася у зв'язку з тим, що вона незначна за величиною порівняно з іншими силами, що підтвердили експериментальні дослідження. Проте, при значних величинах тиску та витратах вона може значно підвищувати вплив і нехтування нею може призвести до значних помилок в дослідженнях.

Статичні характеристики взаємопов'язані з динамічними якостями регуляторів. Тому при розгляді динаміки регуляторів тиску, зокрема якості перехідного процесу та стійкості роботи, слід враховувати гідродинамічну силу та напрям її дії тому, що вона може суттєво впливати на якісні та кількісні характеристики регуляторів в цілому.

Стаття надійшла до редакції 5.09.01.

УДК 620.22-419.8

ББК К436506.02-17

В925 + 052 - 036.Е

П.І. Горобець, В.М. Казуров, А.В. Хоменко, О.А. Шевченко

### ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ТА ЖОРСТКОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ З РІЗНИМИ СХЕМАМИ АРМУВАННЯ

*Наведено результати випробувань на розрив із записом діаграм деформування зразків вуглепластика (КМУ-3Э) з різними схемами армування. Побудовано найбільш характерні діаграми деформування. Відзначено особливості деформування вуглепластиків з визначеними схемами армування. Проведено статистичну обробку результатів експерименту.*

Композиційні матеріали, утворені на основі різних наповнювачів і матриць знаходять широке застосування в техніці. Особливо ефективні вони в космічних і авіаційних конструкціях, які потребують високої вагової віддачі. Наприклад, у літаках останнього покоління до 20% поверхні несучих агрегатів і фюзеляжу виготовляються із застосуванням композиційних матеріалів [1]. Композиційні матеріали дозволяють одержувати структури із цілеспрямованою анізотропією фізико-механічних характеристик.

Серед композиційних матеріалів в авіації і космонавтиці широко використовуються вуглепластики, що мають високі питомі значення міцності, термостійкості і модуля пружності порівняно з іншими їх типами. Застосування вуглепластиків для створення елементів конструкцій пов'язано з вивченням їхніх фізико-механічних властивостей за допомогою відомих механічних випробувань та фізичних методів неруйнівних досліджень.

Наведені результати випробувань на розрив із записом діаграм деформування зразків з вуглепластика з різними схемами армування були використані при проектуванні панелей обшивки кесонних частин агрегатів оперення середнього транспортного літака Ан-70.

Для досліджень властивостей вуглепластика при розтяганні використовувалися зразки, які мали розміри і форму, показані на рис.1. Зразки були виготовлені з вуглепластика (КМУ-3Э) методом викладення з наступним вакуум-автоклавним формуванням у відповідності з технічними умовами. Схеми армування зразків наведені в табл. 1.

Як наповнювач використовувалася вуглестрічка (ЭЛУРП-01), просочена епоксидним

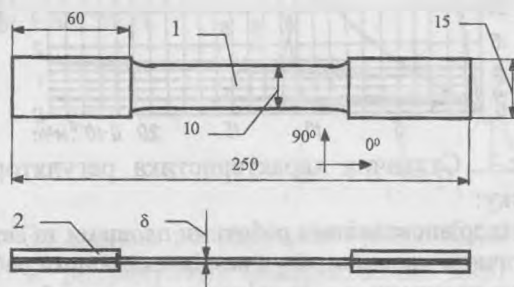


Рис. 1. Зразок для випробувань на розтягання:

1 – зразок з вуглепластика; 2 – запобіжні накладки

Таблиця 1

Номер виконання	Схема армування, град.	Кількість шарів
1	50, -50, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
2	45, -45, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
3	40, -40, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
4	30, -30, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
5	70, -70, 90, 70, -70, 90, 70, -70	8
6	60, -60, 90, 60, -60, 90, 60, -60	8
7	50, -50, 90, 50, -50, 90, 50, -50	8
8	40, -40, 90, 40, -40, 90, 40, -40	8
9	30, -30, 90, 30, -30, 90, 30, -30	8
10	60, -60, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 45, -45	10
11	50, -50, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 45, -45	10
12	45, -45, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 45, -45	10
13	60, -60, 90, 60, -60, 90, 45, -45, 45, -45, 45, -45	12
14	50, -50, 90, 50, -50, 90, 45, -45, 45, -45, 45, -45	12
15	45, -45, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 45, -45, 45, -45	12
16	СВМ, 86, -86, 86, -86	5
17	55, -55, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
18	35, -35, 90, 45, -45, 90, 45, -45	8
19	50, -50, 90, 50, -50, 90, 45, -45	8
20	40, -40, 90, 40, -40, 90, 45, -45	8
21	30, -30, 90, 30, -30, 90, 45, -45	8
22	60, -60, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 90, 90, 45, -45, 45, -45, 45, -45, 45, -45	18
23	40, -40, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 90, 45, -45, 45, -45, 45, -45, 45, -45, 45, -45	17

зв'язуєчим (ЭДТ-69Н). Для проведення механічних випробувань з відпресованих плит були вирізані зразки згідно з діючою нормативно-технічною документацією.

На зразки у місцях установлення в затискачі випробувальної машини "ZWICK" наклеєні накладки 2 зі склотекстоліту типу КАСТ товщиною 2 мм (рис. 1).

Зразки у виконанні 16 мали з одного боку захисний шар із синтетичним волокнистим матеріалом під кутом 0.

Для проведення випробувань була використана гідравлічна машина "ZWICK". Деформація вимірювалася датчиком вимірника деформації з базою 50 мм. З метою збільшення бази вимірювання датчик постачався додатковими скобами з ножовими контактами, що дозволило збільшити базу вимірювання до 80 мм (рис. 2). Далі датчик вимірника деформації піддавався таруванню. У процесі тарування відхилень від лінійної залежності "навантаження-деформація" не спостерігалось.

Вимірник деформації кріпився до робочої частини зразка за допомогою ножових контактів, що не створюють додаткових

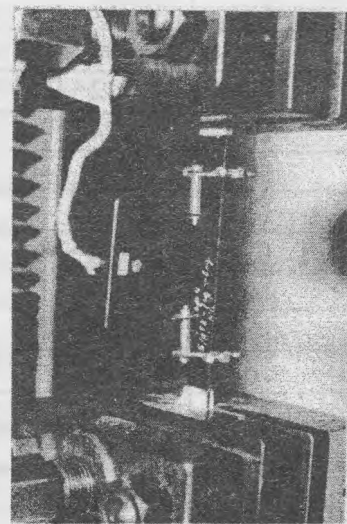


Рис. 2. Зразок для випробувань на розтягання із закріпленим датчиком вимірника деформації

напружень в останньому і відповідно не впливають на обумовлені характеристики.

Товщини кожного зразка вимірялися за допомогою електронного мікрометра в п'ятьох точках. Середні значення товщини зразків  $\bar{\delta}$  зазначені в табл. 2 з результатами вимірювань.

За результатами випробувань на розтягання зразків визначалися гранична деформація  $\epsilon_{пр}$ , границя міцності зразка при розтяганні  $\sigma_{в}$ , подовжній модуль пружності зразка при розтяганні в пружній зоні  $E$ .

На підставі отриманих результатів були визначені коефіцієнти варіації  $\gamma_k$  за формулою, яка наведена в роботі [2]:

$$\gamma_k = \sqrt{\gamma_\sigma^2 + 0,0064},$$

де  $\gamma_\sigma$  – коефіцієнт варіації руйнівних напружень зразків з урахуванням кількості випробувань зразків:

$$\gamma_\sigma = \frac{\sqrt{\frac{1}{N-1} \left[ \sum_{i=1}^N X_i^2 - \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^N X_i \right)^2 \right]}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i} \eta(N),$$

$X_i$  – результати випробувань;  $N$  – кількість випробувань;  $\eta(N)$  – множник, що враховує кількість випробувань і вибирається з таблиці роботи [2].

Таблиця 2

Номер виконання	$\bar{\delta}$ , мм	Кути армування і їх процентний вміст $\bar{n}$				$\sigma_{в}$ , даН/мм <sup>2</sup>	$\epsilon_{пр}$ , %	$E \cdot 10^3$ , даН/мм <sup>2</sup>
		$\pm \theta$	$\bar{n}_\theta$	$\bar{n}_{\pm 45}$	$\bar{n}_{90}$			
1	0,936	50	25	50	25	19,63	1,25	2,12
2	0,957	–	–	75	25	21,88	1,23	2,23
3	0,917	40	25	50	25	22,97	1,14	2,51
4	0,922	30	25	50	25	26,28	0,94	3,12
5	0,907	70	75	–	25	6,1	0,65	1,06
6	0,929	60	75	–	25	9,7	1,59	1,21
7	0,917	50	75	–	25	19,71	1,39	2,91
8	0,886	40	75	–	25	27,95	1,07	3,23
9	0,932	30	75	–	25	43,9	0,88	5,5
10	1,174	60	20	60	20	19,36	1,39	2,2
11	1,175	50	20	60	20	20,23	1,4	2,29
12	1,11	–	–	80	20	22,12	1,28	2,39
13	1,314	60	33	50	17	13,73	1,3	2,59
14	1,425	50	33	50	17	17,4	1,44	1,82
15	1,404	–	–	83	17	19,83	1,33	2,33
16	0,576	86	80	–	20	13,96	2,01	1,39
17	0,929	55	25	50	25	20,01	1,33	2,06
18	0,949	35	25	50	25	24,17	1,05	2,77
19	1,04	50	50	25	25	17,59	1,1	2,16
20	0,92	40	50	25	25	26,0	1,15	2,89
21	1,52	30	50	25	25	21,42	1,34	2,13
22	1,65	60	11	67	22	18,38	1,46	1,93
23	1,541	40	12	18	70	22,99	1,25	2,42

У результаті експерименту були отримані діаграми “навантаження  $P$  – переміщення  $\Delta$ ” для всіх виконань зразків. На підставі результатів випробувань визначалися середні значення: границь міцності, граничних деформацій, миттєвих модулів пружності в пружній зоні. Результати наведені в табл. 2 для кожного з виконань.

Для виконання 1 на рис. 3 показана усереднена діаграма деформування. Характер кривих “навантаження  $P$  – переміщення  $\Delta$ ” для виконань 2–5 і 7–23 аналогічний виконанню 1 і свідчить, що в зразках з матеріалу КМУ-3Э відбувається крихке руйнування.

Для виконання 16 зі схемою укладання ( $86^0, -86^0, 86^0, -86^0, 0$  (СВМ)) характер діаграми деформування (рис. 3) не змінюється, при цьому наявність додаткового шару зі СВМ призвела до збільшення  $\epsilon_{пр}$  до 2,1% і зменшення подовжнього модуля пружності всієї композиції.

У виконанні 6 зі схемою укладання ( $60^0, -60^0, 90^0, 60^0, -60^0, 90^0, 60^0, -60^0$ ) характер діаграми деформування відрізняється від усіх інших. Діаграма (рис. 4) має явно виражений нелінійний характер на ділянці деформування понад 0,5 мм. Деформація зразка без збільшення навантаження спостерігається і у металів в області границі текучості, але при цьому на відміну від металу в вуглепластиковому зразку шийка плинності не утворюється. Такий характер діаграми можна пояснити особливостями взаємодії волокон і матриці, що мають різні пружно-плинні властивості. Для більш детального вивчення даного явища потрібні додаткові дослідження зразків зі схемами армування, представленими у виконанні 6 і близькими до них.

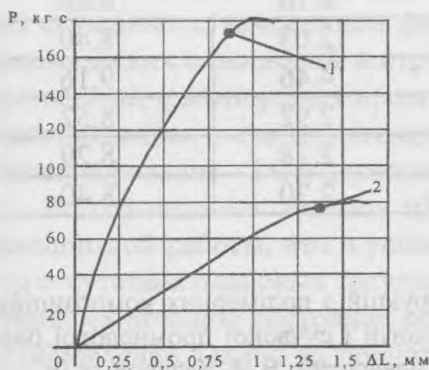


Рис.3. Діаграма “навантаження – деформація”:  
1 – для виконання 1; 2 – для виконання 16

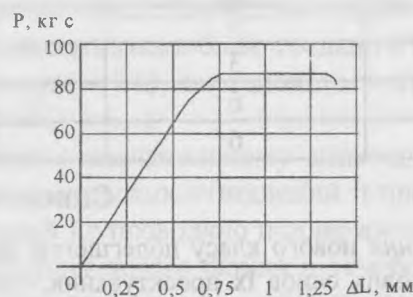


Рис. 4. Діаграма “навантаження - деформація”  
для виконання 6

Статистична обробка результатів експерименту виконувалася по границі міцності зразків  $\sigma_b$  для всіх виконань. Результати статистичної обробки наведені в табл. 3.

Таким чином, з дослідження характеристик міцності та жорсткості вуглепластиків з різними схемами армування можна зробити такі висновки.

Для більшості схем армування руйнування зразків носить крихкий характер, діаграми деформування зразків мають характер близький до лінійного.

Наявність додаткового шару зі СВМ у цілому не змінює характер деформування зразка, але веде до збільшення відносної деформації і деякого зменшення подовжнього модуля пружності всього пакета композита.

Для зразків у виконанні 6 зі схемою армування ( $60^0, -60^0, 90^0, 60^0, -60^0, 90^0, 60^0, -60^0$ ) характер деформування відрізняється від інших зразків чітко вираженою нелінійною ділянкою діаграми деформування, наявність якої вимагає подальшого вивчення.

Таблиця 3

Номер виконання	Кількість зразків	$\eta$	$\gamma_{\sigma}, \%$	$\gamma_{\kappa}, \%$
1	4	1.44	3.98	8.93
2	4	1.44	4.23	9.05
3	4	1.44	12.58	14.9
4	6	1.33	2.45	8.37
5	5	1.37	7.35	10.86
6	4	1.44	2.71	8.45
7	5	1.37	8.00	11.31
8	6	1.33	3.87	8.89
9	5	1.37	8.18	11.44
10	6	1.33	2.00	8.20
11	6	1.33	4.23	9.00
12	5	1.37	7.40	10.90
13	4	1.44	4.55	9.20
14	4	1.44	4.87	9.36
15	4	1.44	1.40	8.10
16	6	1.33	13.20	15.44
17	5	1.37	1.99	8.24
18	6	1.33	4.10	8.98
19	3	1.5	2.63	8.40
20	5	1.37	4.46	9.16
21	3	1.5	2.92	8.52
22	6	1.33	2.18	8.29
23	6	1.33	2.70	8.40

## Список літератури

1. Створення нового класу полегшених авіаційних конструкцій з полімерних композиційних матеріалів, наукових основ їх проектування, ефективних технологій і сучасної промислової бази з впровадженням розробок у виробництво / В.Г Бондарь, В.З.Брагилевський, В.Н. Казуров та ін. – К.: АНТК ім. О.К. Антонова, 1998.-Т. 2, Ч. 1. – С. 5–10.

2. Рекомендації по проектированию опытных конструкций из композиционных материалов. Отчет/ ЦАГИ; В.Ф.Кутыинов, В.М. Андриенко, Ю.П. Трунин, А.В. Стюарт.-№ 4726. – 1984. – С. 15–16.

Стаття надійшла до редакції 10.09.01.