

УДК 539.4:678.067.7

Г. М. БОРОЗЕНЕЦЬ, І. В. СЕМАК

Національний авіаційний університет, Україна

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА МІЦНІСТЬ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ

В статистичному аспекті проведені дослідження впливу найбільш типових схем армування та режимів формування на розсіювання характеристик міцності конструкційних вуглепластиків. Показано, що коефіцієнт варіації граничної міцності вуглепластиків практично не залежить від схеми армування.

Ключові слова: вуглепластики, схеми армування, режими формування, характеристики міцності.

Вступ. Високі характеристики питомої міцності, жорсткості, втомної довговічності, можливість управління в широкому діапазоні анізотропією властивостей в порівнянні із традиційними металічними матеріалами зумовили в останні роки значне зростання обсягу застосування полімерних композиційних матеріалів (КМ) в авіаційних конструкціях.

Більш широке застосування вуглепластиків в конструкціях повітряних суден стримується недостатніми знаннями їх ряду фізико-механічних властивостей. До них відносяться: значне розсіювання характеристик міцності і довговічності; анізотропія властивостей в порівнянні із металічними матеріалами; чутливість до дії ударних пошкоджень та кліматичних факторів; крихке руйнування і наявність великої кількості його форм не властивих металічним конструкціям [1].

Розробка високоефективних конструкцій із композиційних матеріалів з заданими властивостями можлива при наявності достовірних вичерпних даних про міцнісні характеристики матеріалу. При цьому важливо знати зміну характеристик міцності матеріалу та їх розсіювання в залежності від схеми армування шарів вуглестрічки, яка належить тій чи іншій деталі, виходячи з її призначення та умов роботи в конструкції.

Оскільки напівфабрикат – вуглестрічка ЛУ-П-01 – випускається партіями, забезпечити виробництво деталей із однієї партії матеріалу протягом тривалого терміну неможливо. Тому дані про міцність та розсіювання властивостей матеріалу потрібно знати не для одного, наприклад, першого виробу, а і для наступних серійних виробів, так як в процесі серійного виробництва деталі із КМ в основному будуть виготовлятися із різних партій вуглестрічки. Експериментальні дані про механічні властивості матеріалу, що отримані із однієї партії вуглестрічки не мають значного практичного інтересу для спеціалістів промисловості при розробці конструкцій із КМ.

Метою роботи є дослідження впливу конструктивно-технологічних факторів на характеристики міцності конструкційних обшивочних вуглепластиків.

Методика та результати досліджень. В роботі узагальнені результати випробувань на розтягання зразків-свідків в вигляді пластин, що виготовлені по 15 найбільш типових схемам армування матеріалу із різних партій вуглестрічки ЛУ-П-01. Підготовка зразків та їх випробування осьовим розтяганням виконано згідно ГОСТ 25.601-80. Кожна схема армування матеріалу відповідала деталі із КМ, що представляє собою тонкостінну конструкцію. Деталі виготовлялись

протягом п'яти років. Всі деталі, а також і зразки з них, виготовлені на одному підприємстві в одному автоклаві ручною викладкою за участю різних за кваліфікацією виконавців.

Для вирішення поставленої задачі використана математична теорія багатофакторного планування експерименту [2]. Зміна міцності зразків із вуглепластиків та їх статистичні оцінки в залежності від схеми укладки шарів вуглестрічки наведено в таблиці 1. Товщина одного шару вуглестрічки 0,11...0,12 мм.

Таблиця 1

Міцність зразків із вуглепластиків та їх статистичні оцінки в залежності від схеми армування шарів вуглестрічки ЛУ-П-01

№ партії матеріалу	Схема армування шарів вуглестрічки	Кількість шарів	Границя міцності σ_B , МПа	Середнє квадратичне відхилення S , МПа	Коефіцієнт варіації v , %	Кількість зразків
1	0-45+45-0	4	410,0	47,1	11,50	348
2	-45+0+45-0	4	425,0	12,5	11,40	125
3	90+45-45-90	4	174,0	20,5	9,75	464
4	0+45-45-0	4	431,	62,8	14,60	508
5	0+45-45-90	4	276,5	32,2	11,70	305
6	0+45-0+45-0	5	478,0	53,5	11,20	319
7	90-0-90+45-0-45-90-0-90	9	314,0	46,6	14,80	303
8	0-90-0-45-90+45-0-90-0	9	393,1	58,0	14,70	227
9	0+15-15-0-90-90-0+15-15-0	10	560,0	72,8	13,00	192
10	0-0-0-0-0-0-0-0-0-0	10	775,0	99,0	12,70	645
11	90+45-45-0-45+45-90	7	261,3	25,1	9,60	109
12	90-45-0+45-0-90+45-0-45-90	10	337,7	32,0	9,40	156
13	0-45+45-90+45-45-0-45+45	9	277,6	25,1	9,05	60
14	90+45-45-0-45+45-90+45-45	9	234,7	23,1	9,84	60
15	+45-45+45-45+45-45+45-45+45-45+45-45	12	145,8	17,1	11,7	87

Залежність коефіцієнта варіації границі міцності матеріалу для різних схем укладки стрічки ЛУ-П-01 наведено на рисунку 1. Приведені результати є середніми даними випробувань наведених партій матеріалу КМУ-3Л.

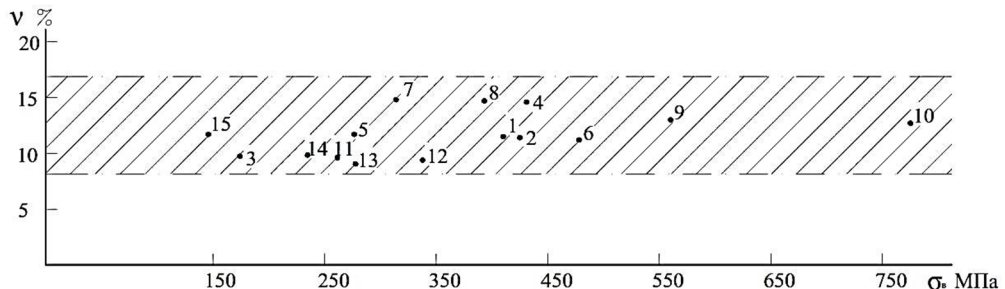


Рис. 1. Зміна коефіцієнту варіації границі міцності вуглепластика КМУ-3Л в залежності від схеми армування шарів вуглестрічки: 1...15 – порядкові номери партій матеріалу, виготовленого за наведеними в таблиці схемами армування шарів вуглестрічки.

За результатами випробувань проведено кореляційний аналіз, побудована модель з метою визначення впливу схеми армування вуглестрічки на розсіювання міцності. Модель розглядалась у вигляді полінома

$$\hat{y} = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3.$$

В кінцевому результаті модель має вигляд

$$\hat{y} = 11,61379 - 3,052727 \cdot 10^{-6}x^3,$$

де $\hat{y}$ і x – коефіцієнт варіації та границя міцності відповідно.

Перевірка адекватності отриманої моделі виконана за критерієм Фішера. Якість моделі оцінювалась шляхом визначення коефіцієнта множинної кореляції, що дорівнює 0,079. F – відношення для коефіцієнта множинної кореляції дорівнює 0,388, а відношення коефіцієнта регресії до помилки його оцінки дорівнює 0,623. Модель неінформативна. Коефіцієнт при x^3 незначимий. Інші коефіцієнти при x^1 та x^2 також незначимі, та як їх частка, що вноситься в модель менше 0,5%. Звідси витікає, що розглянуті схеми армування шарів вуглестрічки практично не впливають на коефіцієнт варіації границі міцності матеріалу.

В роботі також досліджувались характеристики міцності вуглепластиків виготовлених за двома технологічними режимами тиску формування матеріалу. Зразки були виготовлені за п'ятьма схемами армування (табл. 2) на основі вуглестрічки ЕЛУР-П-0,08 та зв'язуючого ЕДН-69Н.

Таблиця 2

Схеми армування зразків

Варіанти армування	Схеми армування шарів ЕЛУР-П-0,08	Кількість шарів
1	+45-45+45-45-90+70-70-90+70-70+70-70	12
2	СВМ-45+45-90-45+45-90-45+45	9
3	СВМ-60+60-90-60+60-90-60+60	9
4	СВМ-30+30-90-30+30-90-30+30	9
5	СВМ-45+45-45+45-90-45+45-90-60+60	11

Викладка зразків проводилась ручним способом з подальшим вакуум-автоклавним формуванням за двома різними режимами. Один із них відповідає технології розробника КМ і надалі характеризується тиском формування 0,25 МПа. Другий, який характеризується тиском 0,15 МПа є прискореним і застосовується з метою зниження енергозатрат на виробництво КМ. Надалі зразки випробовувались до руйнування при зсуві в площині листа згідно з ГОСТ 24778-81. Результати порівняльних випробувань 10 партій зразків із 5 одиниць кожна, наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати випробування зразків виготовлених за двома режимами тиску формування

Тиск формування	Варіанти армування	Середнє значення граничної міцності $\bar{\tau}_d$, МПа	Середнє квадратичне відхилення S , МПа	Коефіцієнт варіації v , %
1	2	3	4	5
0,25 МПа	1	245,3	26,3	10,72
	2	235,8	15,3	6,49
	3	232,5	10,29	4,43
	4	216,7	18,9	8,72
	5	242	23,3	9,63

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5
0,15 МПа	1	200,1	50,93	25,46
	2	228,6	23,52	10,29
	3.	194,7	25,77	13,24
	4	195,8	32,04	16,37
	5	237,4	10,1	4,25

Висновки. Аналіз отриманих даних показав, що коефіцієнт варіації границі міцності для вуглепластика КМУ-3Л при випробуваннях змінюється в діапазоні приблизно 9...15% і практично не залежить від схеми армування шарів вуглестрічки.

Зменшення технологічного тиску формування з 0,25 МПа до 0,15 МПа призводить до збільшення розсіювання границі міцності і відповідно збільшення коефіцієнту варіації для вуглепластиків типу КМУ-3-Л, що необхідно враховувати при застосуванні вуглепластиків в відповідальних конструкціях.

Отримані результати можуть бути використані розробниками конструкцій із вуглепластиків.

Список літератури

1. Борозенець Г.М., Павлов В.М., Семак І.В. Застосування композиційних матеріалів в авіаційних конструкціях та проблеми оцінки їх стану // Науково-популярний журнал «Колега» НАН України, № 1. 2012.—С.38-39.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., 1986. – 280 с.
3. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1981.— 272 с.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2017

Борозенець Григорій Михайлович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058, тел. 044 406 73 71.

Семак Інна Вікторівна – старший викладач кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова 1, м. Київ, Україна, 03058. тел. 044 406 73 71.

G. M. BOROZENETS, I. V. SEMAK

THE INFLUENCE OF STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE STRENGTH OF CARBON FIBER.

There were made the researches of the most typical reinforcement schemes and generation mode on dissipation of carbon fiber resistance capabilities. And there is shown that the coefficient of variation in the carbon fiber resistance limit almost doesn't depend on reinforcement scheme.

Key words: carbon fiber, reinforcement scheme, generation mode of material, resistance capabilities.

Reference

1. Borozenets' H.M., Pavlov V.M., Semak I.V. Zastosuvannya kompozytsiynykh materialiv v aviatsiynykh konstruktsiyakh ta problemy otsinky yikh stanu // Naukovo-populyarnyy zhurnal «Koleha» NAN Ukrayiny, # 1. 2012.–S.38–39.
2. Adler Ju.P., Markova E.V., Granovskij Ju.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij. M., 1986. 280 s.
3. Tarnopol'skij Ju.M., Kincis T.Ja. Metody staticheskikh ispytanij armirovanyh plastikov. M.: Himija, 1981.– 272 s.