

## Оцінка якості полімерного композиційного матеріалу за критерієм міцності

*Проведена оцінка впливу кута укладання шарів однонаправленої вуглецевої тканини на міцність перехресно-армованого композиційного матеріалу (КМ).*

Якістю матеріалу при моделюванні та синтезі керують за допомогою варіювання рецептурно-технологічних факторів, вибір яких залежить від знань про матеріал і технологію, фактичні можливості управління виробництвом. В роботі [1] наводяться ієрархічні структури мікро-, мезо- та макrorівнів структури КМ. При «переході» на наступний структурний рівень (до нового матеріалу) оптимізовані рецептури та технологія попереднього рівня удосконалюються. Тому послідовне поєднання рівнів (від мікро- до макроструктури) вимагає виділення критеріїв (властивостей), які забезпечують отримання якісного композиційного матеріалу лише на рівні макроструктури (продукту технології). Основні критерії якості КМ на мікрорівні представлені на рис. 1.



Рис. 1. Показники якості композиційних матеріалів.

Більшість конструктивних елементів зазнають навантажень у різних напрямках – розтяг, стиск, вигин та ін. Зокрема, нижня обшивка крила літака навантажена розтягом із крученням, а верхня – стиском із зсувом. Таким чином, для отримання позитивного ефекту при застосуванні елементів з КМ, деталі конструкції необхідно армувати так, щоб максимально використовувати властивості міцності вздовж волокон і максимально виключити роботу матеріалу поперек волокон. Оскільки міцність КМ вздовж волокон відрізняються від його властивостей поперек волокон, тому що у першому випадку працюють в основному волокна, а в другому – сполучник, необхідно застосовувати схеми комбінованого армування для підвищення механічних властивостей виробу.

Армований композит – це конструкційний матеріал, який має щонайменше дві окремі складові. Армуючі компоненти забезпечують міцність і жорсткість, в той час як оточуючий сполучник підтримує армування і забезпечує технологічність виробу. Полімерний сполучник також захищає волокна від впливу механічних пошкоджень та вологи. Односпрямовані волокна надають анізотропних властивостей композиту і придатні в експлуатації в зонах впливу високого напруження. Ефективність армування з односпрямованих волокон теоретично 100%, якщо їхній напрямок укладання збігається з напрямком діючих сил. Це означає, що армуючі властивості можуть бути досягнуті в одному напрямку. Також можна досягти значної переваги в зниженні ваги готового виробу. Наприклад, змінюючи кут нахилу намотування та орієнтацію волокон, можна досягти високої механічної стійкості виробу та зниження його ваги до 72% [2].

При переході від безперервних волокон до дискретних частина довжини кожного волокна не сприйматиме повного навантаження. Чим коротше армуюче волокно, тим менша його ефективність. При довжині волокон менше критичної довжини ( $l_{кр}$ ), матриця за жодних обставин не може передати волокну напруження, достатнє для його руйнування. З цього випливає, що армуюча здатність коротких волокон (збільшення пружноміцності полімеру) дуже невисока. Особливо якщо зважати на орієнтацію волокон, яка в таких матеріалах не буває ідеальною. Структура матеріалів на основі коротких волокон переважно хаотична. Перевага коротковолокнистих наповнювачів визначається можливістю високошвидкісної переробки матеріалів виробів. Однак у процесі лиття чи екструзії відбувається додаткове руйнування волокон, довжина яких зазвичай зменшується до критичної та становить 0,1-1 мм.

Наведемо приклади впливу кута укладання армуючих волокон при виготовленні валу з полімерних композиційних матеріалів на їх механічні характеристики. Використовуючи армовані волокном КМ, можна вибирати відповідне орієнтування укладання волокон у приводному валу, завдяки чому значення модуля пружності при згинанні буде більшим. Крім того, мала відносна щільність композитів призводить до бажаного модуля пружності, що збільшує критичну швидкість обертання валів [3]. Щоб збільшити власну частоту та модуль пружності у поздовжньому напрямку валу, волокна мають бути орієнтовані під кутом 0 градусів. Привідний вал втрачає 38% своєї власної частоти, коли вуглецеві волокна орієнтовані у напрямку під кутом 90 замість 0 градусів [4].

Мета роботи полягала в оцінці впливу кута укладання шарів однонаправленої вуглецевої тканини на міцність перехресно-армованого КМ.

Досліджуваний матеріал – перехресно-армований КМ, виготовлений з однонаправленої вуглецевої тканини SkyCarbon і полімерного епоксидно-діанового сполучника КДА (ТУ 2225-032-00203306-97), модифікованого аліфатичною епоксидною смолою марки ДЭГ-1.

Форма досліджуваних зразків КМ, кут укладання шарів однонаправленої вуглецевої тканини та напрям діючого навантаження представлено на рис. 2.

Таблиця 1.

Властивості вуглецевого волокна в однонаправленій тканині SkyCarbon

№	Характеристика	Значення
1	Межа міцності	4137 МПа
2	Модуль пружності	242 ГПа
3	Подовження	1,5 %
4	Діаметр волокна	7.2 мкм
5	Лінійна щільність	270 м/кг

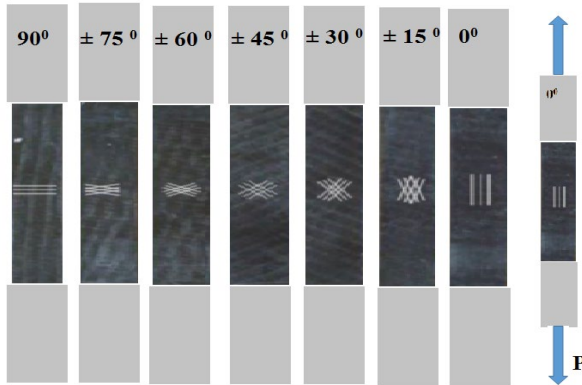


Рис. 2. Форма досліджуваних зразків та кут укладання шарів вуглецевої тканини.

За результатами механічних випробувань зразків на розтяг зафіксована максимальна величина зусилля на зразок, що призводить до його руйнування. За максимальним значенням руйнівного навантаження для кожного кута укладання обчислено межу міцності при розтягу (табл. 2).

Таблиця 2.

Експериментальна оцінка межі міцності при розтягу

Параметри	Кут укладання ( $\varphi$ ) в досліджуваному зразку						
	$0^\circ$	$\pm 15^\circ$	$\pm 30^\circ$	$\pm 45^\circ$	$\pm 60^\circ$	$\pm 75^\circ$	$90^\circ$
Руйнівне навантаження, $P_{рн}$	24300	18400	8500	2760	2380	830	258
Межа міцності при розтягу, $\sigma_{розт}$ , МПа	423	301	131	44	39	14	4

За одержаними експериментальними значеннями руйнівного навантаження встановлено, що перехресно-армований КМ характеризується найвищою міцністю при куті укладання 0 градусів в напрямку прикладеного навантаження, зростання кута укладання армуючих вуглеволокон до  $90^\circ$

призводить до зниження руйнівного навантаження в 95 разів. Таким чином, залежно від кута укладання проявляється анізотропія міцності КМ. Мінімальний кут укладання, який має меншу розбіжність з напрямком прикладання сили, призводить до зниження руйнівного навантаження в 1,3 рази.

Оцінка руйнівного навантаження при  $90^0$  укладання свідчить про розривну міцність сполучника КДА, яка знижується в 1,4 рази, згідно нормам, встановлених в ТУ. Імовірно, це обумовлено адгезійною взаємодією активних епоксидних груп сполучника з поверхнею вуглеволокон в процесі формування КМ, що призводить до неоднорідності розподілу епоксидних груп в КМ – найбільша їх щільність проявляється на межі армуюче волокно - сполучник, найнижча – в основі сполучника.

**Висновок.** Змінюючи кут укладання армуючого матеріалу залежно від передбаченого напрямку дії прикладеного навантаження, можна досягнути високої міцності КМ в процесі твердіння. Однак експлуатаційні умови застосування КМ, як правило, свідчать про різновекторність прикладання діючого навантаження, що передбачає необхідність створення умов експерименту, максимально наближених до реальних умов експлуатації виробу.

#### Список літератури

1. Bormotov A., Proshin A., Korolev E. and others. Methodological principles of the development and quality control of special-purpose building materials / The Journal «Scientific Israel – Technological Advantages». – 2002. - 3–4. – P. 178 – 185.
2. Khoshhravan M.R., Paykani A. Design of Composite Drive Shaft and its Coupling for Automotive Application / Journal of Applied Research and Technology. - 2012. - Vol. 10. - P. 826-834.
3. Lee D.G, Kim H.S, Kim J.W, Kim J.K. Design and manufacture of automotive hybrid aluminum/composite drive shaft / Composite Structures. - 2004. - Vol. 63. - P. 87-99.
4. Xu F.J., Ye J.R., Xue Y.D. Design and mechanical analysis of a hybrid composite drives haft / Composite Structure. - 1991. - Vol. 9. - P. 207–216.