

УДК 629.7.08

ДОБРИДЕНКО О.М., начальник науково-дослідного управління, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
СКЛЯР О.І., начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук
ТУРЧИН В.М., старший науковий співробітник
БЕЛІНСЬКА Р.Б., науковий співробітник

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ОЦІНКА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ У КОНСТРУКЦІЯХ ПЛАНЕРІВ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ВІЙСЬКОВОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ

Проведено аналіз використання композитних матеріалів в авіабудуванні та оцінено результати їх застосування у конструкціях планерів літальних апаратів військового призначення.

Ключові слова: композитні матеріали, безаварійна експлуатація літаків.

На протязі всієї історії існування авіації спостерігається постійний природній інтерес до досліджень, спрямованих на зменшення матеріалоемності конструкцій нової техніки при одночасному покращенні їх функціональних характеристик і підвищенні їх надійності. Забезпечення таких вимог часто досягається за рахунок використання нових матеріалів з більш високими фізико-механічними, технологічними й експлуатаційними параметрами.

Традиційні конструкційні матеріали, зокрема метали, поступаються по цілому ряду параметрів перед композитними матеріалами, які все частіше застосовуються в різних галузях науки і техніки (рис. 1).

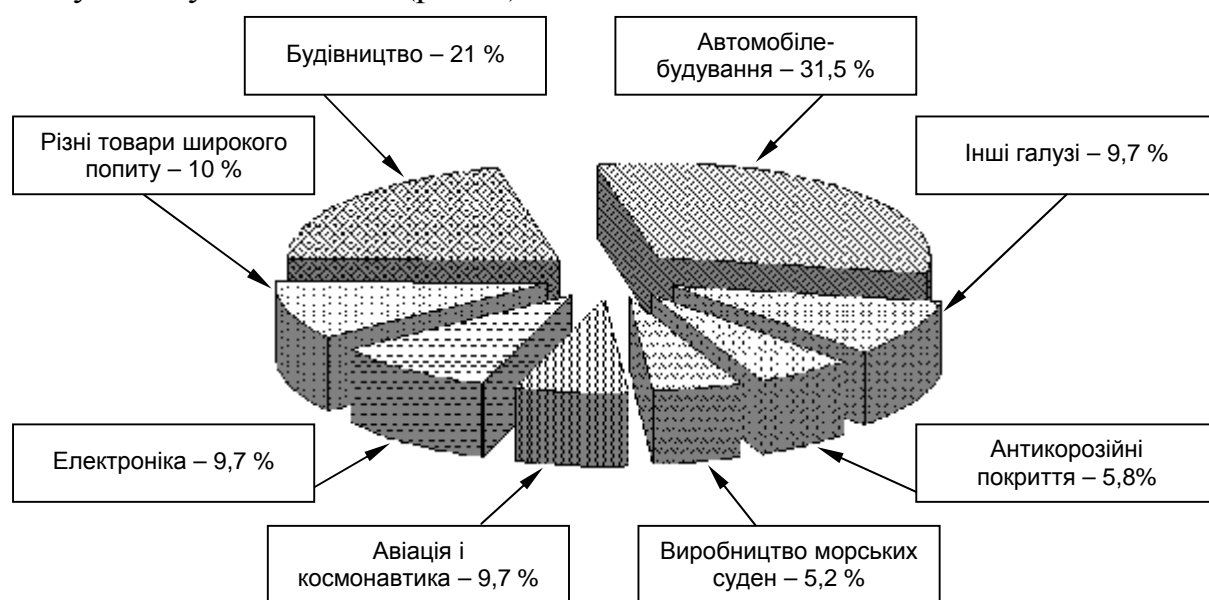


Рис. 1. Структура світового досвіду застосування композитних матеріалів у 2011 році

Композитні матеріали – це штучні матеріали, отримані поєднанням компонентів з різними властивостями. Композитні матеріали конструктивно складаються з матриці (основи) та наповнювача (рис. 2).

У якості матеріалу матриць використовуються: полімерні, металеві, керамічні та вуглецеві матеріали. У якості наповнювача – скло; борні, вуглецеві, органічні, ниткоподібні кристали (карбідів, боридів, нітрідів та ін.) і металеві дроти.

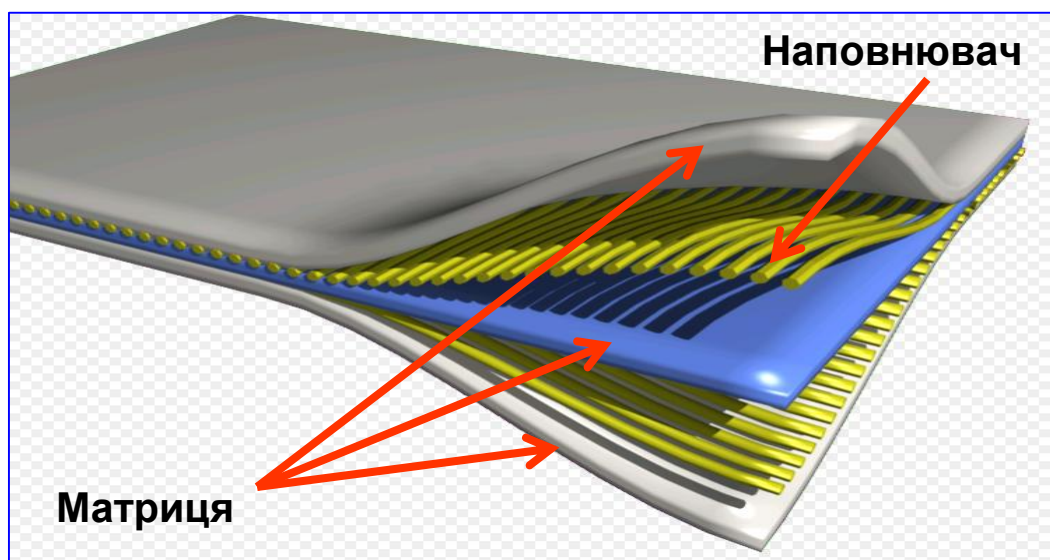


Рис. 2. Конструкція композитних матеріалів

Види композитних матеріалів представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Види композитних матеріалів

Металеві композитні матеріали	
<i>Матриця</i>	<i>Наповнювач</i>
Волокнисті	
Алюміній	Волокна <i>B</i> або <i>SiC</i>
Магній	Волокна <i>B</i> ; <i>SiC</i> або ниткоподібні кристали <i>Al₂O₃</i>
Нікель	Волокна <i>B</i> ; <i>SiC</i> ; <i>W</i> ; <i>C</i> .
Титан	Волокна <i>SiC</i> або ниткоподібні кристали <i>SiC</i>
Алюмінієві сплави	Волокна <i>B</i> ; <i>SiC</i> або ниткоподібні кристали <i>SiC</i> , <i>Al₂O₃</i> ; або волокна з нержавіючої сталі
Магнієві сплави	
Шарові	
Листи чистого алюмінію	Листи або провочна сітка із титану або титанового сплаву
Листи фольги з чистого алюмінію	Берилієві листи
Полімерні композитні матеріали	
Волокнисті	
Епоксидна смола	Волокна <i>B</i>
Епоксидна смола	Волокна графіту

Природньо, що сьогодні одним з найперспективніших напрямків використання композитних матеріалів є авіабудівництво. Це, насамперед, пов'язано

з тим, що до матеріалів конструкції планера літальних апаратів висуваються особливі вимоги: висока міцність з малою питомою вагою; максимальна незалежність механічних властивостей від часу експлуатації та навколишнього середовища; необхідна втомна міцність і пластичність; стійкість проти повзучості; максимальна можливість стійкості проти корозій; низька вартість; властивості, що дозволяють застосовувати прогресивні технології обробки (пресування, штампування, хімічне фрезерування, прокат, зварювання).

Номенклатура композитних матеріалів і частка їх використання в процесі виготовлення літальних апаратів з роками мінялися. На початку 50-х років в пасажирських авіалайнерах типу Boeing-707 використовувалося лише декілька відсотків композитів на основі скловолокна. Але починаючи з 60-х років відсоток використання композитних матеріалів значно збільшується (табл. 2).

Таблиця 2

Використання композитних матеріалів в цивільному авіабудуванні США

№ з/п	Призначення	Назва	Рік випуску	Композиційні матеріали, %
1	транспортний літак	McDonnell Douglas DC-9	1965	0,4
2	транспортний літак	Boieng 747	1969	1,5
3	транспортний літак	McDonnell Douglas DC-10	1972	0,3
4	транспортний літак	Lockheed L-1011	1973	0,7
5	транспортний літак	McDonnell Douglas 80	1980	1,1
6	транспортний літак	A-310	1982	10
7	транспортний літак	Boieng 757	1983	2,5
8	транспортний літак	Boieng 767	1983	3,5
9	транспортний літак	Boieng 737-300	1984	0,9
10	транспортний літак	A300-600	1985	4,6
11	транспортний літак	A-320	1987	15
12	транспортний літак	Boieng 747-400	1990	2
13	транспортний літак	McDonnell Douglas MD-11	1992	4,5
14	транспортний літак	A-340	1992	13,5
15	транспортний літак	C-17	1993	5
16	транспортний літак	A-330	1993	13,5
17	транспортний літак	A-321	1994	15
18	транспортний літак	Boieng 777	1995	6,5
19	транспортний літак	McDonnell Douglas MD-90	1995	2,7
20	транспортний літак	A-322	1998	16

Покращені експлуатаційні властивості сучасних композитних матеріалів (підвищена міцність, корозійна стійкість, температуро- та жаростійкість, стійкість до зносу та ін.) у порівнянні з металевими сплавами, які застосовуються в конструкціях планерів, дали можливість розширити області застосування композитних матеріалів в процесі виробництва сучасних літальних апаратів військового призначення провідними авіаційними країнами світу.

На сьогодні стали дуже популярними нові матеріали: високо-жорсткі борні (бороволокніти) і вуглецеві (графітові) волокна в комбінації з епоксидними смолами. Спочатку ці матеріали використовувались в хвостовій частині фюзеляжу

літаків, у елеронах та інших рухливих частинах. Незабаром борні волокна були широко поширені в конструкції горизонтальних стабілізаторів на винищувачах F-14 Tomcat. Сьогодні ж на винищувачах F-22 використовують вуглецеві та інші волокна в композитних матеріалах, які, в цілому, складають одну чверть структури його конструкції (табл. 3).

Таблиця 3

Зменшення долі застосування традиційних матеріалів та збільшення композитних матеріалів у військовій авіації США

№ з/п	Найменування винищувача	Рік створення	Алюміній	Титан	Композитні матеріали	Інші матеріали
1	F15	1972	49%	32%	2%	17%
2	F/18-18E/F	1995	31%	21%	19%	29%
3	F-22	1996	16%	39%	24%	21%

На рис. 3...6 показано загальну тенденцію динаміки застосування композитних матеріалів (у процентному відношенні до ваги літального апарата) у конструкціях планерів нових та перспективних зразків літальних апаратів військового призначення Росії та України. На сьогоднішній день маса композитних матеріалів в конструкціях зазначених літальних апаратів досягає 15...55% загальної маси їх конструкції. Така ж тенденція спостерігається і на літаках виробництва США (рис. 7).

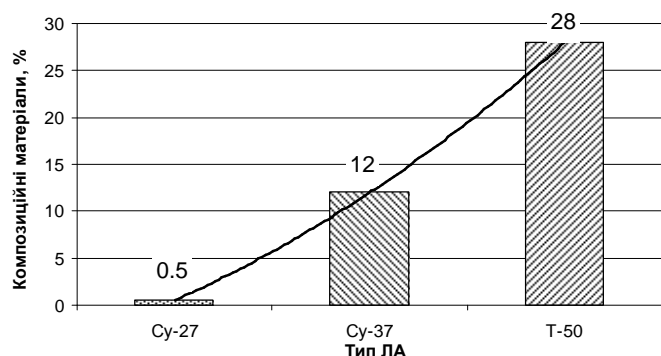


Рис. 3. Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях планерів літаків ДКБ «Сухого»

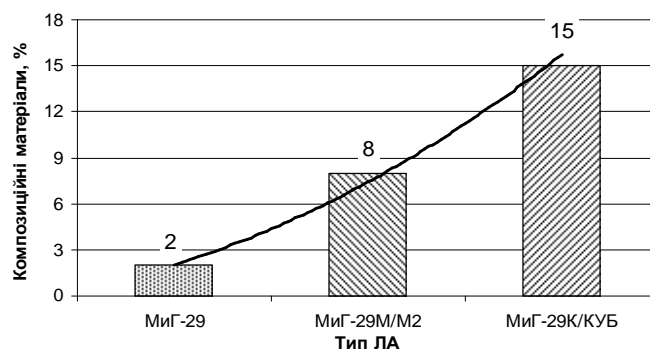


Рис. 4. Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях планерів літаків ДКБ «МіГ»

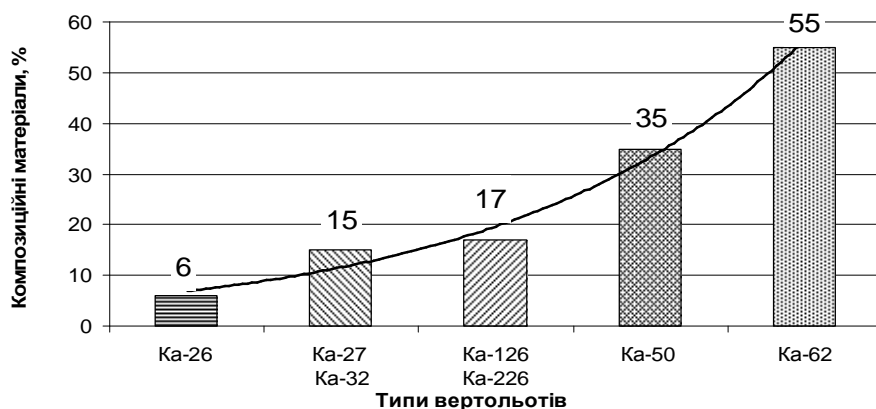


Рис. 5. Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях планерів вертольотів ДКБ «Камов»

Широке використання композитних матеріалів в конструкціях сучасних літальних апаратів призвело до істотного (до 40%) зниження їх ваги. Наприклад, питома вага одного з основних видів композитних матеріалів – склопластиків в середньому складає $1,4 \text{ г/см}^3$. При цьому питома вага металів значно вища, наприклад, сталі – $7,8 \text{ г/см}^3$, міді – $8,9 \text{ г/см}^3$, а дюралюмінію – $2,8 \text{ г/см}^3$.

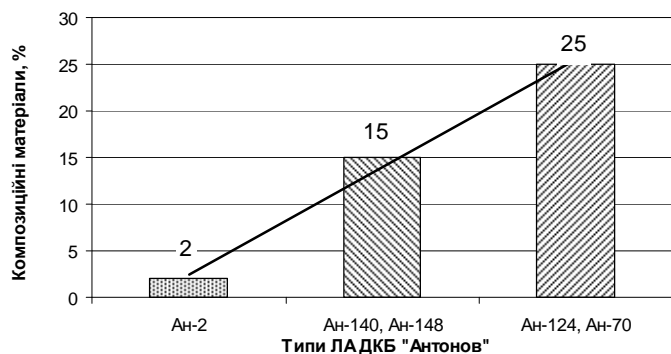


Рис. 6. Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях планерів літаків ДКБ «Антонов»

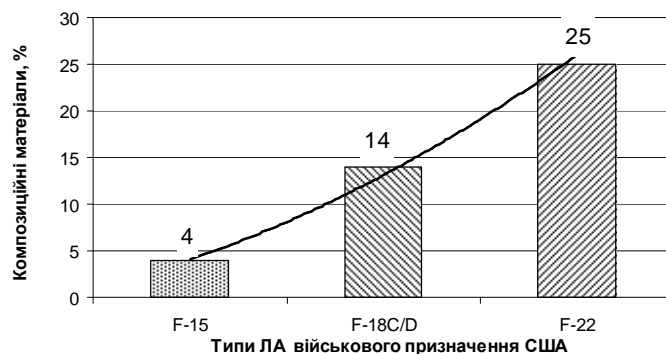


Рис. 7. Динаміка застосування композитних матеріалів в конструкціях планерів літаків фірми «Boeng»

При зменшенні ваги конструкцій літальних апаратів підвищується їх корисне навантаження, що, наприклад, дозволить збільшити дальність польоту. Згідно з дослідженням компанії «European Aeronautic Defence and Space Company», економія на експлуатаційних витратах за рахунок зниження маси літаків може скласти від 100 до 1000 євро на кілограм заощадженої маси.

Композитні матеріали також знайшли своє застосування і при виробництві літальних апаратів військового призначення, які зараз знаходяться на озброєнні авіації Повітряних Сил Збройних Сил України. Кількість таких матеріалів у конструкціях планерів становить близько 3%. Так при розробці планерів літаків Су-27, Су-25, Су-24, МіГ-29 та вертольотів Мі-8 і Мі-24 композитні матеріали на основі склопластику використовувалися, в основному, у конструкціях антенних обтікачів і радіопрозорих люків різних радіоелектронних пристроїв.

Більш широке застосування у конструкціях планерів літаків типу МіГ-29 та його модифікаціях знайшли композитні матеріали на основі вуглепластика КМУ-4Э та КМУ-4Л. Дані композитні матеріали використовувалися для виготовлення обшивки напливу фюзеляжу, передкрилків, мотогондол, закінцівок крила, панелей кілів, технічних люків.

Загалом застосування композитних матеріалів у конструкціях літальних апаратів, які знаходяться на озброєнні авіації Повітряних Сил Збройних Сил України, себе повністю виправдало. Виключенням є окремі несправності виробів із композитних матеріалів, поява яких обумовлена конструктивно-виробничими недоліками. Так, наприклад, у процесі тривалої експлуатації літаків типу МіГ-29 було виявлено осередки електрохімічної корозії накладки підкільової надбудови літака типу МіГ-29 в місцях контакту з композитним матеріалом (рис. 8).

Для забезпечення безаварійної експлуатації літаків типу МіГ-29 Державним науково-дослідним інститутом авіації у співпраці з Державним підприємством

“Львівський державний авіаційний ремонтний завод” було розроблено методичку оцінки технічного стану елементів силової конструкції літаків типу МіГ-29, які рацюють в контактi з елементами, виготовленими з композитних матеріалів.

Слід зазначити, що досягнення в розробці і створенні композитних матеріалів відкривають шляхи створення принципово нових видів авіаційної техніки і озброєння. Так, завдяки своїм властивостям, таким, наприклад, як підвищена міцність, корозійна стійкість та легкість, композитні матеріали набули широкого застосування при побудові безпілотних літальних апаратів.

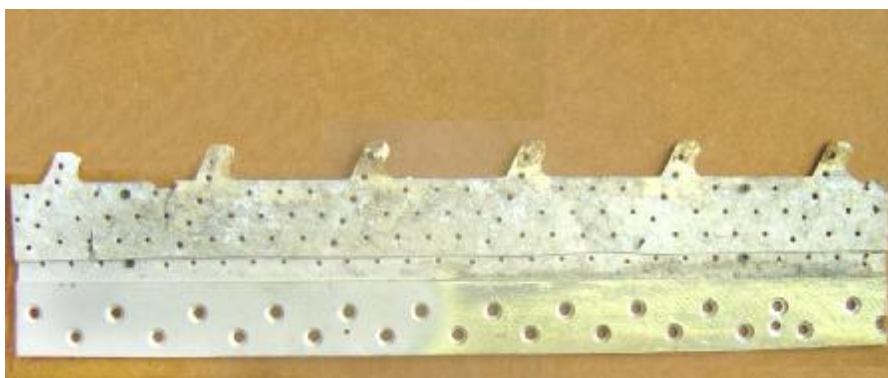


Рис. 8. Електрохімічна локальна корозія накладки підкільової надбудови літака типу МіГ-29

Як приклад, на безпілотних літальних апаратах Ту-143 «Рейс» композитні матеріали на основі склотекстоліту стільникової структури використовувались лише для виготовлення носового відсіку Ф-1 фюзеляжу.

На сьогодні перспективний безпілотний літальний апарат «Стрепет» виробництва ДП “Чугуєвський авіаційний ремонтний завод” повністю виконаний із склопластику з епоксидним зв’язуючим холодного отвердіння (епоксидна смола ЕД-20 з затверджувачем або епоксидна смола «Larit» з відповідним затверджувачем).

Ще однією спорідненою галуззю використання композитних матеріалів є виробництво легкомоторних літальних апаратів. Так, “Одеським авіаційно-ремонтним підприємством “Одесавіаремсервіс” на сьогодні освоєно виробництво легкомоторного літака «Фермер», конструкція планера якого на 100% виготовлена з сучасних композитних матеріалів.

Останнім часом композитні матеріали почали з успіхом використовуватися також в процесі виготовлення корпусів (фюзеляжів) як літаків та ракет, так і двигунів. Як приклад, КБ «Південне» розробляє та створює з композитних матеріалів корпуси космічних апаратів, корпуси камер згоряння, сопла та рулі твердопаливних двигунів, деталі криогенних паливних систем і т.д.

Механічні та експлуатаційні властивості композитних матеріалів (висока питома міцність, висока жорсткість, значні показники опору втомленості, висока стійкість до зносу, легкість, технологічність при створенні великогабаритних конструкцій складної аеродинамічної форми, висока якість аеродинамічної поверхні, можливість виготовлення розміростабільних конструкцій та ін.) відкривають перспективні напрямки щодо можливості заміни деяких існуючих матеріалів у конструкціях планерів літальних апаратів на композитні матеріали. Але

при цьому слід зазначити, що для існуючих зразків літальних апаратів військового призначення такі конструктивні зміни потребують об'ємних теоретичних та експериментальних наукових досліджень в області міцності конструкцій, аеродинаміки польотів, температурної стійкості та ін.

На основі інформації про аналогічні дослідження, які проводяться в даній області розробниками та виробниками літаків типу Су-27, Су-25, Су-24 та МіГ-29, можна сказати наступне:

для літальних апаратів військового призначення зі строком служби, близьким до попередньо-встановленого виробником, заміна значної частини елементів планера на вироби з композитних матеріалів малоефективне через високу вартість реалізації цих заходів;

значно ефективнішим є застосування композитних матеріалів на зразках літальних апаратів, які проектуються та розробляються. Це підтверджується останніми розробками в даній області. Як приклад, у перспективного літака ОКБ «Сухого» Т-50 маса композитних матеріалів становить 25 %, а площа їх поверхностей – 70 %.

Таким чином, за результатами проведеного всебічного аналізу можливо зробити такі висновки:

1. Використання композитних матеріалів в авіаційній галузі дозволить разом з покращенням характеристик міцності, жорсткості та стійкості до зносу, зменшити вагу конструкцій і збільшити корисне навантаження літальних апаратів, в тому числі за рахунок установа додаткового обладнання при модернізації.

2. Перспективним напрямком використання композитних матеріалів в умовах України є їх застосування при створенні перспективних зразків авіаційної та космічної техніки (безпілотних та легкомоторних літальних апаратів, перспективних літаків сімейства «Ан», космічних апаратів).

3. Оцінка доцільності та можливості заміни конкретних елементів планера літальних апаратів військового призначення на композитні матеріали потребують проведення відповідних теоретичних та експериментальних наукових досліджень в області міцності конструкцій, аеродинаміки польотів та ін., а також обґрунтування економічної доцільності проведення таких заходів з урахуванням прогнозованого строку служби таких літальних апаратів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Новицкий В.В. Прочность и проектирование конструкций из композиционных материалов / В.В. Новицкий, – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1984.– 299 с.
2. Ванин Г.А. Микромеханика композиционных материалов / Г.А. Ванин. – К.: Наук. думка, 1985. – 304 с.
3. Звіт про результати виконання дослідної роботи “Визначення залишкової міцності стикових накладок 5.12.3410.2301.98, 5.12.3410.2410.98 кріплення кіля до підкільової надбудови літака типу МіГ-29” – К.: ДНДІА, 2009. – 44 с.
4. <http://transfer.eltech.ru/innov/archive.nsf/>