

Композиційні матеріали

Композиційними називають складні матеріали, у склад яких входять нерозчинні або малорозчинні один в другому компоненти, які сильно відрізняються за властивостями, та розділені в матеріалі чітко вираженою границею.

Принцип утворення композиційних матеріалів (КМ) запозичений у природи. Прикладом природних композиційних матеріалів можуть бути стовбури та стебла рослин, кістки людини та тварин. В дереві волокна целюлози з'єднанні пластичним лігніном, в кістках тонкі міцні нитки фосфатних солей – пластичним колагеном. До природних композиційних матеріалів можна віднести і сплави у литому стані (пластична матриця та зміцнювальна фаза, яка різними способами орієнтована в матриці).

Властивості композиційних матеріалів залежать від фізико-механічних властивостей компонентів та міцності зв'язку між ними. Відмітною рисою композиційних матеріалів є те, що в них проявляються краще властивості компонентів, а не їх недоліки.

Композиційні матеріали за питомими міцністю та жорсткістю, міцністю при високій температурі, стійкості опору руйнуванню та іншими властивостями значно перевершують усі відомі конструкційні сплави. Рівень заданого комплексу властивостей проектується попередньо та реалізується у процесі виготовлення матеріалу. При цьому матеріалу за можливістю надають форму, яка максимально наближена до форми готових деталей та навіть окремих вузлів конструкції.

Основою композиційних матеріалів (матриць) служать метали або сплави (композиційні матеріали на металічній основі), а також полімери, вуглецеві та керамічні матеріали (композиційні матеріали на неметалічній основі).

Матриця пов'язує композицію, надає їй форму. Від властивостей матриці у значній мірі залежать технологічні режими отримання композиційних матеріалів і такі важливі експлуатаційні характеристики, як робоча температура, опір

руйнуванню втоми, вплив навколишнього середовища, густина та питома міцність. Створені композиційні матеріали з комбінованими матрицями, які складаються з двох або більше шарів різного складу, які чергуються між собою.

Зміцнювачі повинні мати високі властивості міцності. Зі збільшенням механічних властивостей наповнювачів підвищуються відповідні властивості композиційного матеріалу, хоча вони і не досягають характеристик наповнювачів. Наповнювачі мають армуючі компоненти, які вводять у матрицю для зміни не тільки міцності, але і інших властивостей.

Властивості композиційного матеріалу залежать від форми або геометрії, розміру, кількості та характеру розподілу наповнювача.

Композиційні матеріали на основі алюмінію. В дисперсно-зміцнених КМ наповнювачами служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – служать дисперсні частинки тугоплавких фаз – оксидів, нітридів, боридів, карбідів (Al_2O_3 ; SiO_2 ; BN; SiC та ін.)

Дисперсно-зміцнені КМ отримують методами: 1) порошкової металургії; 2) безпосереднього введення наповнювачів у рідкий метал або сплав перед безпосереднім введенням наповнювачів у рідкий метал або сплав перед розливом. В останньому випадку для очищення від жирових та інших забруднень, покращення змочування частинок рідким металом та рівномірного розподілу їх у матриці застосовують ультразвукове оброблення рідкого розплаву.

В дисперсно-зміцнених композиційних матеріалах основне навантаження сприймає матриця, а дисперсні частинки зміцнювача чинять опір руху дислокацій при напруженні матеріалу, перешкоджають розвитку пластичної деформації. Чим більше цей опір, тим вище міцність. Міцність залежить також від дислокаційної структури, яка формується у процесі пластичної деформації при виготовленні виробів з композиційних матеріалів.

Перевагою дисперсно-зміцнених КМ в порівнянні з волокнистими є ізотропність властивостей. До дисперсно-зміцнених КМ на алюмінієвій основі відноситься матеріал зі спеченої алюмінієвої пудри(САП), на нікелевій основі –

Перевагою дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів у порівнянні з

волокнистими є анізотропність властивостей. До дисперсно-зміцнених композиційних матеріалів на алюмінієвій основі відносяться матеріали зі спеченої алюмінієвої пудри (САП), на нікелевій основі – композиційні матеріали, які зміцнені частинками оксидів торію, ітрію, гафнію.

Матеріал САП характеризується високою міцністю, жароміцністю, корозійною стійкістю та термічною стабільністю властивостей.

САП складається з алюмінію та оксиду алюмінію. Отримують САП шляхом послідовного брикетування, спікання та пресування окисненої з поверхні алюмінієвої пудри.

Вихідним матеріалом для отримання пудри служить порошок пульверизат, який виготовляють розпиленням розплавленого алюмінію А6. Порошок подрібнюють у кульових млинах в атмосфері азоту з додаванням 2...3 % O_2 та 0,25...1,2 % стеаринової кислоти. Кисень додають для окиснення наново утворених поверхонь пудри, стеарин – для полегшення ковзання та перешкоди зварювання частинок пудри. Частинки пудри мають форму великої кількості луски товщиною менше 1 мкм. Розмір луски залежить від тривалості розмелювання. Товщина оксидної плівки частинок складає 0,01...0,1 мкм.

Структура САП являє собою алюмінієві основу з рівномірно розподіленими дисперсними включеннями Al_2O_3 . Зі збільшенням вмісту Al_2O_3 підвищуються міцність, твердість, жароміцність САП та зменшується його пластичність (рис. 1). САП добре деформується у гарячому стані, гірше у холодному, легко обробляється різанням та задовільно зварюється контактним та аргонодуговим зварюванням.

На теперішній час застосовують САП-1, САП-2, САП-3, САП-4 з них виготовляють усі види напівфабрикатів: листи, профілі, штампові заготівлі, труби, фольгу. САП використовують для деталей, які експлуатуються при температурі 300...500 °С (поршневі штоки, лопатки компресорів, лопаті вентиляторів та турбін авіаційних двигунів).

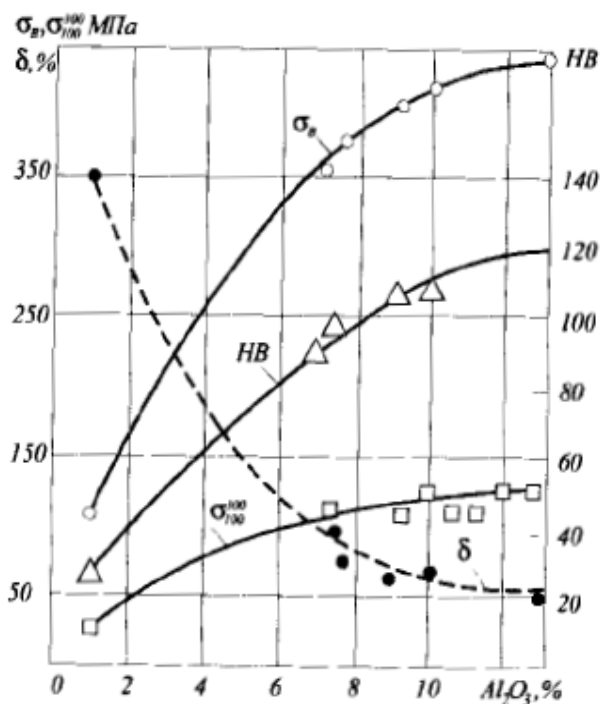


Рис. 1. Зміна механічних властивостей САП в залежності від вмісту Al_2O_3 .

Механічні властивості матеріалу САП наведені в табл. 1.

Таблиця 1–

Механічні властивості матеріалу САП

Матеріал	Вміст Al_2O_3 , %	σ_b , МПа	δ ,%	E, ГПа
САП-1	6...8	300	7	67
САП-2	9...12	350	5	71
САП-3	13...17	400	3	76
САП-4	18...22	450	1,5	80

Спечені алюмінієві сплави (САС) виготовляють за технологією, аналогічною технології виготовлення САП – з порошків, що отримані розпиленням сплавів із заданим складом.

Сплави САС мають низький температурний коефіцієнт лінійного розширення, близький до коефіцієнту лінійного розширення сталі та високий модуль пружності. Так, спечені алюмінієві сплави складу 25...30 % Si, 5...7 % Ni,

Al_{зал} має $\alpha = (14,5 \dots 15,5) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}$, $E = 100 \text{ ГПа}$. Ці сплави замінюють більш важкі при виготовленні окремих деталей приладів. Механічні властивості спечених алюмінієвих сплавів характеризуються достатньо високою міцністю, твердістю ($\sigma_B = 260 \text{ МПа}$, $HB = 1200$) та низькою пластичністю ($\delta = 1,5 \dots 1\%$).

Композиційні матеріали на основі нікелю. В якості матриці використовують нікель та його сплави з хромом ($\sim 20\%$) зі структурою твердих розчинів. Сплави з хромонікелевою матрицею мають більш високу жаростійкість. Зміцнювачами служать частинки оксидів торію, гафнію та ін.

Тимчасовий опір в залежності від об'ємного вмісту зміцнювальної фази змінюється за кривою з максимумом. Найбільше зміцнення досягається при вмісті $3,5 \dots 4 \%$ оксиду гафнію; $\sigma_s = 750 \dots 850 \text{ МПа}$; $\delta = 8 \dots 12\%$. Легування нікелевої матриці W, Ti, Al, які мають змінну розчинність в Ni, додатково зміцнює матеріал.

Отримують цей матеріал таким способом. Змішують порошки металів Cr та легувальних елементів із завчасно приготованим (методом хімічного осадження) порошком Ni, який містить дисперсний оксид гафнію або інший елемент. Після холодного пресування суміші порошків проводять гарячу екструзію брикетів.

Волокнисті композиційні матеріали. У волокнистих композиційних матеріалах зміцнювачами служать волокна або ниткоподібні кристали чистих елементів та тугоплавких з'єднань (B, C, Al_2O_3 , SiC та ін.), а також дріт з металів та сплавів (Mo, W, Be, високоміцна сталь та ін.). Для армування композиційних матеріалів використовують безперервні та дискретні волокна діаметром від часток до сотень мікрон. Теоретичні розрахунки та експерименти вказують на те, що чим більш тонке та довге волокно, а точніше, чим більше відношення довжини до діаметру, тим вище ступінь зміцнення ($\sigma_s^{KM} / \sigma_s^e$) композиційного матеріалу. У якості матриць КМ використовують метали: Al, Mg, Ti, жароміцний Ni та сплави на їх основі; для неметалічних – полімерні, вуглецеві, керамічні матеріали.

Властивості волокнистих композиційних матеріалів у значному ступені залежать від схеми армування. Через значне розходження у властивостях волокон та матриці при одновісному армуванні композиційним матеріалам властива анізотропія властивостей.

При навантаженні розтягуванням механічні властивості (σ_b та E) композиційних матеріалів досягають найбільших значень у напрямку розташування волокон, найменших – у поперечному напрямку. Наприклад, композиційні матеріали з матрицею з технічного алюмінію АД1, зміцнені волокнами бору, у напрямку волокон, мають $\sigma_b = 1000 \dots 1200$ МПа, а у поперечному усього 60...80 %. Вміст хаотично розташованих дискретних волокон та ниткоподібних кристалів обмежується 20...30 %, оскільки розходження в їх довжині та діаметрі утворює технологічні труднощі в отриманні щільноупакованих матеріалів.

Малі значення міцності та жорсткості композиційних матеріалів у напрямку, перпендикулярному розташуванню волокон, при розтягненні, стисненні та зсуві визначаються властивостями матриці. Велику роль відіграє матриця в опорі композиційних матеріалів руйнуванню втомі, яка починається з матриці. Гетерогенна структура, поверхні розділення між волокном та матрицею ускладнюють процес розповсюдження тріщини у напрямку, перпендикулярному осі волокон. У зв'язку з цим композиційні матеріали характеризуються високими значеннями границі витривалості. За границею витривалості композиційні матеріали на алюмінієвій основі перевершують кращі алюмінієві сплави у 3 – 4 рази.

Міцність композиційних матеріалів у значному ступені залежить від міцності зчеплення волокон з матрицею. Для їх якісного з'єднання необхідно у першу чергу забезпечити хороший контакт по усій поверхні з'єднань. Для металічних композиційних матеріалів міцний зв'язок між волокном та матрицею здійснюється завдяки їх взаємодії та утворенню дуже тонкого шару (1...2 мкм) інтерметалідних фаз. Якщо між волокнами та матрицею немає взаємодії, то на волокна наносять спеціальні покриття для його забезпечення, але прошарування фази, що утворюється при цьому, повинні бути дуже тонкими. Зв'язок між компонентами у композиційних матеріалах на неметалічній основі здійснюється посередництвом адгезії.

Композиційні матеріали на неметалічній основі мають хорошу

технологічність, відрізняються низькою щільністю, високою питомою міцністю та жорсткістю, високою корозійною стійкістю, антифрикційними властивостями.

Застосовують композиції з полімерною матрицею: епоксидною, фенолформальдегідною, поліамідною. У якості зміцнювачів цих матриць використовують високоміцні та високомодульні вуглецеві та борні скляні та органічні волокна у вигляді ниток, джгутів, стрічок, нетканих матеріалів.

Композиційні матеріали на металічній основі. Перевагою композиційних матеріалів на металічній основі є більш високі значення характеристик, що залежать від властивостей матриці. Найбільш перспективними матеріалами для матриць металічних КМ є метали, які мають невелику густину (Al, Mg, Ti) та сплави на їх основі.

Матеріали з Al матрицею армують стальним дротом (КАС), борним волокном (ВКА) та вуглецевим волокном (ВКВ). Для матриці використовують технічний алюміній (АД1), сплави АМГ6, В95, Д20.

Матеріали з магнієвою матрицею (ВКМ) характеризуються меншою густиною ($1800 \dots 2200 \text{ кг/м}^3$), ніж з алюмінієвою, при такій же високій міцності $1000 \dots 1200 \text{ МПа}$. Деформовані сплави магнію (МА2), армовані борним волокном (50%), мають високу питому міцність.

Використовують матеріали на титановій та нікелевій матриці (ВКН).

Композиційні матеріали застосовують в авіації, ракетній та космічній техніці для виготовлення крилок літаків, стабілізаторів, лопатей гвинтів та контейнерів гелікоптерів, корпусів та камер згоряння реактивних двигунів.

Використання композиційних матеріалів в конструкціях літаків зменшило їх масу на 30...40, збільшило корисне навантаження без зниження швидкості та дальності польоту.

Композиційні матеріали та технології виробництва виробів авіаційно-космічної техніки. Полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які застосовуються на теперішній час в конструкціях літаків та гелікоптерів, являють собою в основному вуглепластики, склопластики та органопластики на основі епоксидних або епоксифенольних зв'язувальників.

Прогноз структури застосування основних конструкційних матеріалів у планері літаків вказує, що доля ПКМ до 2010 р. зросла на 25 %, а доля металічних композиційних матеріалів (МКМ) – на 5 % (рис. 2).

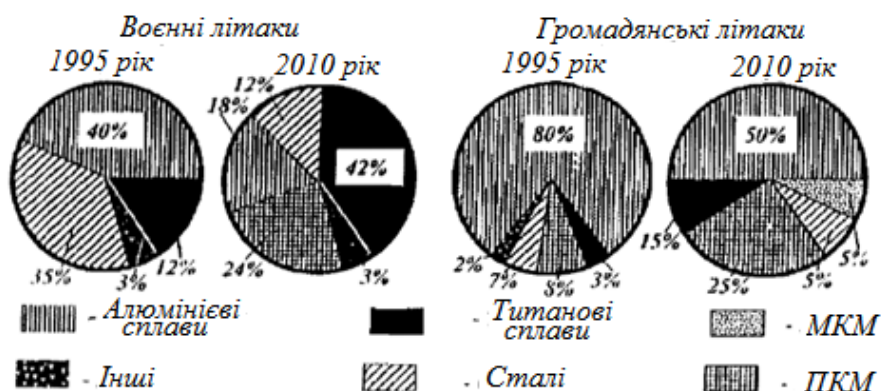


Рис. 2. Використання основних конструкційних матеріалів.

Застосування композиційних матеріалів в конструкціях пасажирських літаків наведено на рис. 3.

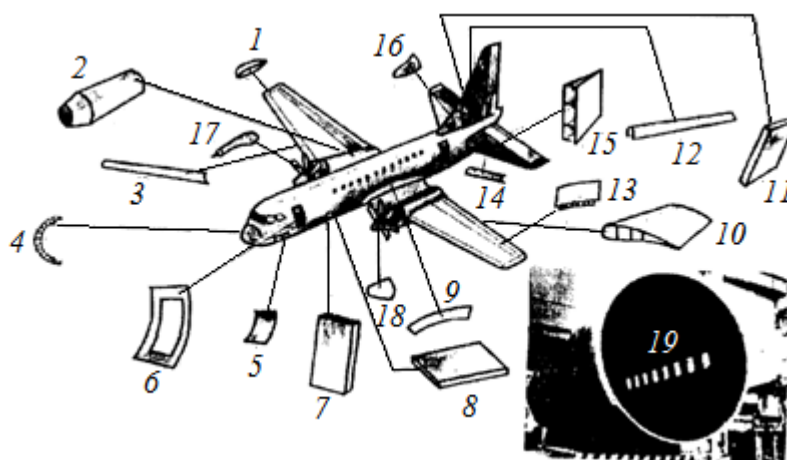


Рис. 3. Застосування композиційних матеріалів в конструкціях літаків:

1 – кінцевий обтічник, 2 – гондола, 3 – переднє окрайка крила, 4 – обтічник антени радіолокатора, 5 – стулка вантажного люка, 6 – входні двері фюзеляжу, 7 – панелі внутрішнього оздоблення, 8 – панель підлоги, 9 – обтічник крила, 10 – закрылок, 11 – кесон кіля, 12 – передня окрайка кіля, 13 – панель крила, 14 – обтічник передньої окрайки хвостового оперення, 15 – панель стабілізатора, 16 – обтічник кіля, 17 – лопать пропелера, 18 – кок гвинта, 19 – секція фюзеляжу.

Оцінка технологічності конструкцій, розробка та освоєння матеріалів з полімерних композиційних матеріалів в конструкціях літаків та ракетобудуванні представлена в табл. 2.

Таблиця 2 –

Розробка та освоєння матеріалів з полімерних композиційних матеріалів у
Конструкції літаків та ракетобудуванні

Вироби	Роки освоєння	% КМ від маси планера	Маса, кг	Кількість деталей, шт.	Матеріали
Ан-72 Ан-74	1972 – 1979	11,1	980	430	вуглепластик склопластик органопластик
Ан-28	1973 – 1980	10,0	140	90	вуглепластик склопластик органопластик
Ан-124 Ан-225	1976 – 1985 1985 – 1988	4,5	5500	2100	вуглепластик склопластик органопластик
Спец-замовлення (ракетобудування)	1982 – 1984	10,0	–	–	полімерний композиційний радіопрозорий матеріал
Ан-70	1985 – 1995	22,0	10046	3240	вуглепластик склопластик органопластик органосклопластик
Ан-38	1991 – 1993	10,4	145	133	склопластик органопластик
Ан-140	1995 – 1998	25,0	1340	920	вуглепластик склопластик органопластик

Поява та наступний розвиток технології виготовлення конструкцій з композитних матеріалів з металічною матрицею забезпечило підвищення техніко-економічних показників літальних апаратів.

Композиційні матеріали з металічною матрицею, наприклад з біметалічного листа Д16 + ВТ1-0, дозволяє на 20...25 % підвищити міцність, у 2...3 рази зменшити абразивне зношення, значно підвищити експлуатаційну надійність та довговічність вузла, агрегату та усього виробу. Біметали використовуються для

обшивок, перегородок, опорних деталей та ін.

Застосування волокнистих металічних композиційних матеріалів (МКМ), типовим представником яких є ВКА-2, дозволяє, за рахунок високої питомої міцності вздовж волокон, підвищити надійність, ресурс та знизити на 20...40 % масу силових конструкцій (розкоси, стрингери та ін.).

Металополімерні композиційні матеріали (МПКМ) у порівнянні з традиційними алюмінієвими конструкційними сплавами мають більш низьку густину (на 10...20 %), більш високу питому міцність при розтягуванні (на 10...20%), меншу швидкість зростання тріщини втоми (у 10...15 разів) та високу деформаційну здатність (у 4 рази). Їх використання в конструкції для обшивки та інших деталей силового набору забезпечує зниження маси, збільшення ресурсу та строку експлуатації виробів.

Технологічні процеси виготовлення конструкцій комплексно включають операції механічного оброблення, пластичного деформування, а також аргонодугового, контактного та дифузійного зварювання

В авіаційних газотурбінних двигунах четвертого покоління (Д36 та його модифікаціях, ДВ2, АІ22, Д18Т) широко використовують полімерні композиційні матеріали (корпус вентилятора, панелі шумоглушіння, лопатки випрямляючого апарата).

Лопатка випрямляючого апарату вентилятора двигуна Д18Т (рис. 4) складається з пера 2, яке виготовлене з вуглепластика, верхньої 1 та нижньої 3 полок, які отримані методом точного лиття з титанового сплаву, та приклеєних за допомогою заливальної композиції 4. Замкове з'єднання після затвердіння композиції додатково підсилене штифтом 5. Для запобігання розшарування матеріалу у зоні вихідної окрайки прийнята прошивка органічними нитками СВМ6.

Для зниження шуму авіаційних двигунів, до допустимого рівня, згідно міжнародним стандартам, застосовують панелі шумоглушіння.

Панель шумоглушіння являє собою трьохшарову клеєну конструкцію. Обшивками панелей є перфорований листовий титановий сплав, склопластик. У

якості заповнювача використовується полімерний сотопласт. Обшивки з'єднанні із заповнювачем полімерним плівковим термоклеєм. Площа панелей шумоглушіння в двигуні Д18Т складає 8 кв. м.

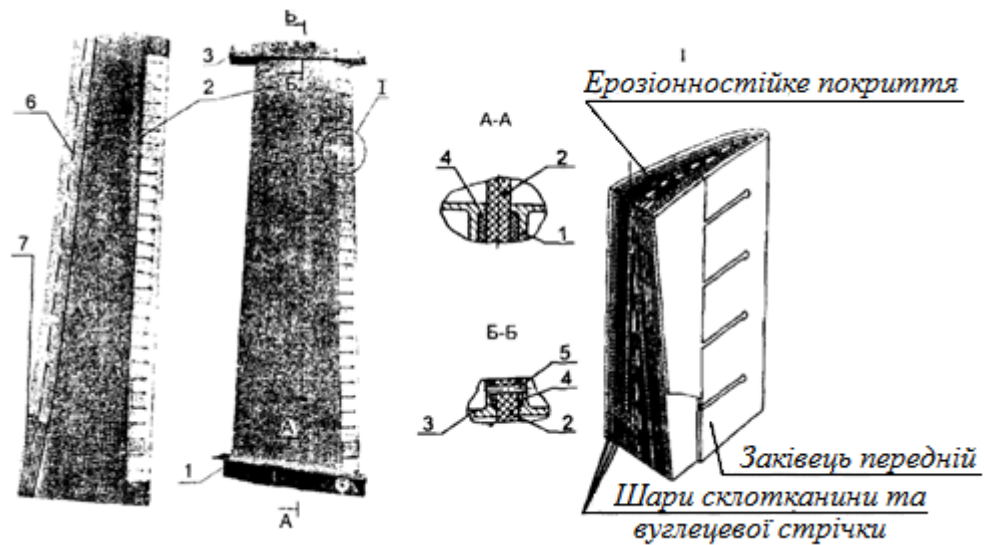


Рис. 4. Лопатка випрямляючого апарату вентилятора двигуна Д18Т:
1,3 – верхня та нижня полки; 2 – перо з вуглесклопластика; 4 – полімерний заповнювач; 5 – штифт; 6 – прошивка ниткою СВМ; 7 – сітка нікелева.