

Лекція 13. МЕТАЛЕВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

1. Композиційні матеріали

Дисперснозміцнені композиційні матеріали

Шаруваті композитні матеріали

Волокнисті композиційні матеріали

2. Методи отримання композитів

3. Біметалеві матеріали

1. Композиційні матеріали

Композиційними матеріалами, або композитами називають матеріали, які складаються з двох або більше компонентів, які відрізняються за хімічним складом, фізико - механічними властивостями і розділені в матеріалі з чітко вираженою границею.

Компоненти вводяться в склад композиційних матеріалів для того, щоб надати їм властивості, яких не мають кожний з компонентів окремо. Змінюючи розмір, розташування, масове та об'ємне співвідношення компонентів можливо отримувати матеріали з потрібними характеристиками фізичних, механічних, експлуатаційних та інших властивостей.

Безперервний за всім об'ємом матеріалу компонент називається *матричним* або *матрицею*. Компонент, який є переривчастим, тобто роз'єднаний в об'ємі матриці, називається *армуючим*, або *наповнювачем*.

Композиційні матеріали класифікуються за матеріалом матриці та армуючих компонентів, структурі (геометрії та розташуванню компонентів), методу отримання та галузі застосування.

За матеріалом матриці та армуючих компонентів розрізняють:

1. *Металеві композиційні матеріали або композиційні матеріали на основі металів та сплавів.* Частіше використовують алюміній, магній, титан, мідь і сплави на їх основі, а також високоміцні сталі, тугоплавкі метали та сплави;
2. *Композиційні матеріали на основі інтерметалідів*, коли в якості матриці використовуються інтерметаліди — хімічні сполуки, з'єднання металів з металами. Наприклад, Ti_3Al , $TiAl$, $NiAl$, Ni_3Al , $MoSi_2$, Nb_5Si_3 ;
3. *Керамічні композиційні матеріали*, у яких матриця складається з неорганічних з'єднань оксидів, карбідів, нітридів і тому подібне. Цей клас композиційних матеріалів має перспективи, як понаджароміцні матеріали;
4. *Композиційні матеріали на основі неметалевих компонентів.* Матеріали на основі вуглецю, є найбільш перспективними, особливо в поєднанні з вуглецевими волокнами;
5. *Композиційні матеріали з матрицею з полімерів.* Епоксидні,

поліефірні та деякі термоактивні смоли, а також полімерні термопласти є найбільш широко розповсюдженою групою конструкційних композитів. У якості армуючих компонентів (наповнювачів) полімерні композиційні матеріали, звичайно, застосовують безперервні та дискретні волокна різноманітної природи, а також тканини і матеріали на основі цих волокон. Найбільше розповсюдження отримали пластики, армовані скляними, вуглецевими, органічними, борними та деякими іншими видами волокон.

За *структурою* (геометрії та розташуванню компонентів) композити розподіляються на дисперснозміцнені, волокнисті та шаруваті композиційні матеріали (рис. 1).

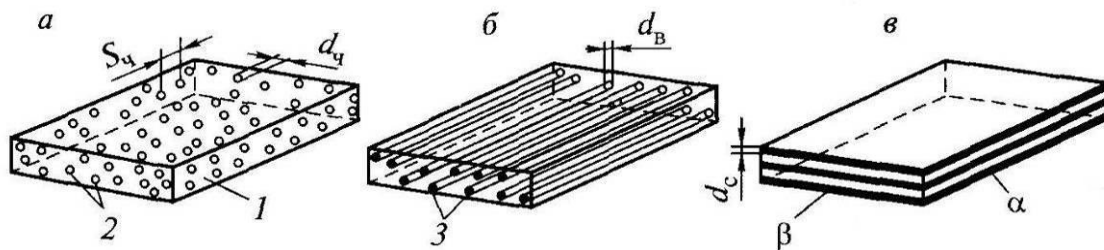


Рис. 1. Схематичне зображення структур композиційних матеріалів: а - дисперснозміцнені; б - волокнисті; в - шаруваті

1- матриця; 2 — частинки, які армують діаметром $d_{\text{ч}}$ з відстанню $S_{\text{ч}}$;

3- волокна, які армують діаметром $d_{\text{в}}$;

$d_{\text{с}}$ — товщина шару в шаруватому β - α композиті.

Дисперснозміцнені композиційні матеріали (рис. 3, а) армуються частинками (нуль - мірними компонентами), які мають всі три розміри одного порядку та безпорядкове розташування в матриці. Частинки зміцнюють матрицю, перешкоджаючи розвитку дислокаційного ковзання, при навантаженні та перерозподілу навантаження між матрицею та наповнювачем, сприймаючи частку прикладеного навантаження.

В дисперснозміцнених композитах застосовують частинки розміром до 1 мкм, в кількості від 0,1 до 25%. В якості дисперсних фаз, звичайно, використовують метали (W), оксиди (Al_2O_3), бори (TiB_2), карбіди (SiC , B_4C , TiC), сіліциди (MoSi_2 , Nb_5Si_3), нітриди (BN, Si_3N_4 , AlN) та інтерметаліди (Ti_3Al , TiAl , NiAl , Ni_3Al).

Волокнисті композиційні матеріали складаються з матриці та одномірних армуючих компонентів (рис. 3,б). У волокнистих композиційних матеріалах пластична матриця армована високоміцними волокнами товщиною від декількох до сотень мікрометрів. В якості армуючих волокон використовують сталевий дріт, металеві (W, Be, Ta, Ti) волокна, фази, які отримані при направлений кристалізації, або спеціальною термомеханічною обробкою сплавів, які формують евтектику (NiBe , Ni_3Nb , CoAl , Co_7W_6 , Fe_3C та ін.), волокна неметалів (вуглець і бор), керамічні волокна на основі Al_2O_3 ,

SiC, TiC та ін., скловолокно, кварц, базальт, азбест, органічні волокна (поліетиленові, поліефірні, поліамідні та ін.).

Волокна мають високий рівень властивостей і можуть сприймати основну долю навантаження, доданого до виробу. Вміст волокон в матриці може досягати 90 % об'єму, однак, в реальних умовах, при об'ємній долі волокон до 80 % виникають проблеми на границі розділу волокно — матриця, що погіршує властивості волокнистого композита.

Комплекс властивостей волокнистого композита в значній мірі визначається геометричною схемою армування. Схеми хаотичного армування короткими волокнами, або одномірне армування короткими і довгими волокнами, можуть бути використані для будь якої матриці, в той же час, решта, в основному, тільки для полімерної матриці.

Потрібно також відмітити, що схеми двомірного та просторового армування простіше реалізуються при виготовленні деталей і вузлів з полімерних матеріалів.

Потрібно відмітити, що міцні властивості композиційних сталей, отриманих в результаті спеціальної термомеханічної обробки, на 50 – 100 %, а пластичність на 15 – 20 % більш ніж гарячекатаних сталей.

Шаруваті композиційні матеріали характеризуються тим, що компоненти мають два розміри, які значно перевищують третій та розташовані пошарово (рис. 3, в).

Шаруваті композити являють собою основні та інтерметалідні шари товщиною від 100 до 1000 мкм. В якості основних шарів використовують різноманітні метали, які, здатні при нагріванні, за рахунок дифузії, утворювати інтерметалідні прошарки (Ti-Fe, Mg-Al, Cu-Al, Nb—Fe та ін.) заданої товщини. Від їх об'ємної долі та складу залежать фізичні та механічні властивості композитів. Так, шаруваті композити системи Ni - C в діапазоні температур від 600 до 850°C мають жароміцність у 4 - 9 разів більшу ніж вихідні метали, а також високолеговані сталі.

Шаруваті металополімерні матеріали складаються з адгезійно- з'єднаних шарів органопластика та металевого сплаву, наприклад, алюмінієвого (сплав АЛОР). Швидкість росту тріщини втомлення в сплаві АЛОР, в порівнянні з алюмінієвим сплавом, значно нижча.

Алюмосклопластики (СИАЛ, GLARE) складаються з тонких, товщиною від 0,25 до 0,6 мм алюмінієвих листів і проміжних, товщиною від 0,2 до 0,4 мм шарів полімерного композиту, який зроблений з термореактивних клейових і термопластичних зв'язуючих з високоміцними армуючими скляними волокнами. Ці матеріали призначені для заміни алюмінієвих листів з метою підвищення надійності та зниження на 15 - 40% маси та вартості експлуатації конструкцій.

[На початок](#)

2. Методи отримання композитів

Методи отримання композиційних матеріалів вибираються, виходячи з аналізу технологічної сумісності компонентів і виключення знеміцнення армуючих елементів в результаті їх хімічної взаємодії з матрицею, або механічного пошкодження в процесі виготовлення матеріалу.

Найчастіше використовуються наступні технологічні процеси отримання композиційних матеріалів:

- рідкофазне (наприклад, промочування волокнистої або порошкової арматури полімерною, або рідкометалевою матрицею, або направлена кристалізація евтектики);
- твердофазне (наприклад, пресування, прокатування, екструзія, штампування, дифузійне зварювання та ін.);
- осадження матричного компонента на армуючих елементах з парогазової фази і розчинів солей (наприклад, плазмове напилення);
- електро - хімічні методи;
- комбіновані методи, основані на поєднанні перерахованих вище процесів (наприклад, плазмове напилення з наступним ущільненням дифузійним зварюванням).

Послідовність технологічних операцій процесу виготовлення дисперснозміцнених композитів методом лиття включає наступні етапи:

- виготовлення ливарної форми;
- розміщення армуючих частинок, виготовлених із сплавів ВК8, або Т15К6, в порожнині ливарної форми;
- заливку ливарної форми матричним металом (розплави сталі 30Л, або чавуну 300Х12ГЗМ);
- охолодження виливків і їх витягування з ливарної форми .

Метод гарячого пресування використовується, в основному, для отримання композиційних матеріалів з алюмінієвою, титановою, магнієвою і нікелевою матрицями. Заготовки для гарячого пресування поміщають в штампи, які під пресом з'єднуються, наприклад в моношаровий стрічковий композит). Метод гарячого пресування волокон, заздалегідь покритих матеріалом матриці, застосовується для отримання композиційного матеріалу в системі Al - SiO₂.

Залежно від виду матеріалу гаряче пресування може здійснюватися на повітрі, у вакуумі і в середовищі інертного газу.

Методи промочування рідким металом знайшли застосування для композитів, армуючі елементи, яких не взаємодіють з розплавом. Методи промочування волокон рідкими металами можуть бути основані на використанні дії капілярних (промочування у вакуумі) і адгезійних сил (протягування пучка волокон через рідкий метал), рідкого металу за рахунок атмосферного і спеціально створеного тиску (відцентровий метод або лиття під тиском).

Отримання композиційних матеріалів методом екструзії і прокатування.

Ці методи застосовуються для створення композитів Al - B, Ni - W (екструзія), Al - нержавіюча сталь, Al - W, Ti - W (прокатування). Різновидом методу екструзії є пресування пучка волокон, покритих шаром матриці. Волокна, які покриті матрицею, піддають екструзії в обоймі із захисного матеріалу. При цьому утворюється композиційний матеріал із щільною структурою. Цим методом можна отримувати композиційні матеріали не тільки циліндричної форми, але і складніші профілі, які приближаються до форми реальних деталей.

Шаруваті композити можуть бути реалізовані при осадженні з парової фази і направленої кристалізації евтектичних сплавів (наприклад, системи типу Al - CuAl₂, Cd - Sn, Al - Zn, Co - CoBe та ін.).

Вибір армуючого компоненту визначається, в основному, призначенням композиційного матеріалу, а матричного матеріалу – рівнем робочих температур. У композиційних матеріалах, які піддаються нагріву не вище 150 - 200 °C використовується, в основному, полімерна матриця – термореактивні та термопластичні смоли; поліамідні смоли витримують тривалий нагрів до 300 °C.

При вищих температурах використовуються композиційні матеріали з металевою матрицею: до ~ 400°C - з алюмінієвою, до ~700 °C - з титановою, до ~1200 °C - з нікелевою або хромовою матрицею. Для робочих температур вище 1200 °C рекомендуються керамічні матриці.

Композиційні матеріали застосовуються у авіаційній, космічній, ядерній і криогенній техніці, хімічному машинобудуванні (де необхідні корозійна, радіаційна стійкість, низькі коефіцієнти термічного розширення), суднобудуванні (корпуси катерів і яхт), приладобудуванні (корпуси приладів), автомобілебудуванні і т. п.

Полімерні композиційні матеріали з наповнювачем із сполук, які містять бор, застосовуються для захисту від нейтронного випромінювання, а з наповнювачами, що містять важкі елементи, - для захисту від γ-випромінювання; дисперсно-зміцнені композиційні матеріали – в деталях авіаційних двигунів і високонавантажених вузлів тертя металургійного, підйомно - транспортного та іншого устаткування замість деталей з традиційних сплавів; металокерамічні композиційні матеріали, як тепловіділяючі елементи, регулюючі стрижні та сповільнювачі в реакторобудуванні, електричні контакти, зварювальні електроди, деталі вузлів тертя та ін.

Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали на основі нікелю застосовують для виготовлення лопаток газових турбін, камер згорання, теплозахисних панелей і трубопроводів, що працюють при високих температурах в агресивних середовищах.

Дисперсно-зміцнені композиційні матеріали на основі кобальту застосовують для виготовлення лопаток газових турбін авіаційних двигунів, а також деталей, що працюють при підвищених температурах в парах ртуті.

Армовані волокнами органічні матеріали (органоволокніти) застосовують, як ізоляційний і конструкційний матеріал в електро -,

радіопромисловості, авіаційній техніці, автобудуванні. З них виготовляють труби, ємкості для реактивів, покриття корпусів суден та ін.

Бороволокніти застосовують в авіаційній і космічній техніці для виготовлення панелей, роторів і лопаток компресорів, лопасті гвинтів і трансмісійних валів вертольотів.

Вуглецеві композиційні матеріали використовують для виготовлення кромek несучих поверхонь літальних апаратів, бронювання відсіків танків і суден.

З боралюмінію і вуглепластиків виготовляють елементи силового набору крила і фюзеляжу літальних апаратів, обтічники, закрилки, кермо.

Шаруваті композити рекомендуються для застосування в авіаційній техніці для обшивок фюзеляжу, крила (особливо в зонах, де має місце акустична втома), обшивок люків, дверей. Вони ефективні при гальмуванні тріщин обшивок і внутрішніх елементів літаків.

[На початок](#)

3. Біметалеві матеріали

Окремим видом матеріалів є біметалеві матеріали або біметали. *Біметалом* називають двошаровий або багатошаровий матеріал, що складається з двох різних металів або сплавів.

Біметали застосовують, в основному, як корозійностійкі, антифрикційні, термо – та зносостійкі матеріали.

Корозійностійкі біметали використовують для деталей великогабаритних конструкцій, що працюють в агресивних середовищах, з метою зниження маси виробів. Як основа застосовують низьковуглецеву або низьколеговану сталь, як плакуючий шар – корозійностійкі сталі (наприклад, 08Х13, 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 03ХН28МДТ та ін.), а також мідь, нікель, титан і їх сплави. Механічна міцність корозійностійких біметалів забезпечується металом - основою, а стійкість в агресивних середовищах - плакуючим металом.

Термобіметали - смуги, листи або стрічки складаються з двох шарів металу або сплавів, які розрізняються температурними коефіцієнтами лінійного розширення. Термобіметали застосовують в різних апаратах і приладах (термометри, терморегулятори, реле часу, захисні реле і ін.).

Антифрикційні біметали застосовують для виготовлення біметалевих вкладишів підшипників, верхній шар яких виготовляється з м'якого антифрикційного сплаву на алюмінієвій основі, а нижній - з низьковуглецевої сталі, яка надає вкладишу достатню механічну міцність, наприклад, сплав АСМ (3,5-4,5 % Sb; 0,3-0,7 % Mg, решта Al) і низьковуглецева сталь.

Зносостійкі біметали складаються з основи (вуглецеві, низьколеговані сталі) і робочого шару (леговані і високолеговані чавуни і сталі) і застосовуються, в основному, як робочі органи дробильно - розмельного устаткування.

Зносостійкі біметалеві матеріали отримують, в основному, механічним з'єднанням (наприклад, типу «ластівків хвіст»), пластичною деформацією шарів металу, наплавленням або заливкою розплаву на тверду основу.

При механічному з'єднанні металів в зоні їх контакту завжди є плівка оксидів і повітряний зазор, що погіршує механічну міцність і відведення тепла.

Дифузійне з'єднання відбувається, в процесі виготовлення біметалевих виливків, при контакті із затверділою, після заливки, основою з робочим шаром і охолодження біметалевого виливка після заливки.

Застосування біметалевих виливків виготовлених за приведеним способом підвищує зносостійкість виробів в 2,5 - 6,0 разів, скорочує витрату дефіцитних і коштовних металів і сплавів (мідь, нікель, титан, хром, марганець) в 1,7 - 2,0 рази і збільшує термін роботи виробів в 6 - 8 разів.

[На початок](#)