

НОВІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ З МЕТАЛЕВОЮ МАТРИЦЕЮ

Ціль роботи: дослідження структури та властивостей композиційних матеріалів на металевій основі.

1.1 Загальні теоретичні відомості

Розвигок техніки потребує пошуку нових матеріалів, сплавів, сталей, нових напівпровідникових, особливо чистих і особливо міцних матеріалів, які працюють за високих температур, в умовах низьких температур (криогенна техніка), високого тиску (глибоководні апарати) і т.п.

Особливо важливим завданням є створення нових матеріалів і більш сучасних їх технологій у літако-, ракетобудуванні, розвиток яких потребує легких та міцних матеріалів, що здатні довгий час працювати за високих температур.

На відміну від морських і наземних видів транспорту, для літальних апаратів першочергове значення має збільшення вагової ефективності конструкцій. Так, при зниженні ваги надзвукового літака на 10% вираш у корисному вантажі складає більш 30%. Окрім зниження ваги, постійно зростають вимоги до збільшення температури, за якою працюють конструкційні деталі, і чим більш високою є робоча температура вузлів авіадвигуна, тим більш високим є термодинамічний коефіцієнт; теоретично підвищення температури газу перед турбіною на кожні 50°C - це підвищення к.к.д. на 10%.

У сучасних газотурбінних двигунах (ГТД) турбінна лопатка працює за температури 1000-1100 °C в умовах великих статичних і динамічних навантажень у сильно окислювальному середовищі.

Надміцні сплави, що застосовуються, вже досягли межі своїх технологічних властивостей. В свою чергу, робочі лопатки компресора мають складний спектр згинальних, стискуючих і скручуючих напруг з високими окружними швидкостями, тенденція підвищення яких все більш зростає. Як показує аналіз, новій техніці відповідає клас композиційних матеріалів, які крім безпосереднього підвищення механічних властивостей, дозволяють реалізувати високі властивості на головних напрямках напружень у конструкціях, маючи при цьому широкий спектр фізичних властивостей.

Під композиційним матеріалом (КМ) варто розуміти сполучення двох або більш хімічно різнорідних матеріалів із чіткою границею розподілу між ними. Композиційний матеріал повинен мати властивості, якими не може володіти жоден з компонентів окремо.

Принцип створення композиційних матеріалів запозичений у природи. Прикладом природних композиційних матеріалів можуть служити стовбури і стебла рослин, кістки людини і тварин. У дереві волокна целюлози з'єднані

пластичним лігніном, у кістках існують тонкі, міцні нитки фосфатних солей. У будівництві для створення міцних перекриттів використовують залізобетон. Зміцнювачем є залізний наклепаний дріт, наповнювачем - матриця - бетон.

Властивості композиційних матеріалів в основному залежать від фізико-механічних властивостей компонентів і міцності зв'язку між ними. Їм придатні властивості, які не мають окремо взяті компоненти. Основою композиційних матеріалів є метали або сплави, а також полімери, вуглецеві та керамічні матеріали.

Матриця зв'язує композицію, надає їй форму. Від властивостей матриці значною мірою залежать технологічні режими одержання композиційних матеріалів і такі важливі експлуатаційні характеристики, як робоча температура, опір утомлюючому руйнуванню, вплив оточуючого середовища σ_n та σ_n / γ (σ_n - межа міцності на розрив, σ_n / γ - питома міцність).

Зміцнювачі-волокна повинні мати високу міцність, твердість і модуль пружності. Наповнювачі ще називають армуючими компонентами.

Властивості композиційних матеріалів залежать від форми, характеру наповнювача. За формою наповнювачі розподіляють на три групи: нуль-вимірні, одновимірні, двовимірні. До нуль-вимірних наповнювачів відносять дисперсно-зміцнюючі композиційні матеріали (ЗАП - зпечений алюмінієвий порошок, зміцнювач - частинки Al_2O_3). До одно- та двовимірних композиційних матеріалів відносять волокнисті композиційні матеріали з одновимірними та двовимірними наповнювачами.

За схемою армування композиційні матеріали підрозділяють на три групи: з одновісним, двовісним та тривісним армуванням.

У дисперсно-зміцнених композиційних матеріалах наповнювачами вступають дисперсні (нульвимірні частинки тугоплавких фаз - оксидів, нітрідів, боридів, карбідів, Al_2O_3 , SiO_2 , BN і т. ін.).

До волокнистих композиційних матеріалів належать матеріали, зміцнені нитковидними кристалами - "вусами" з малою мірою подовження ($l_b/d_b <$) та безперервні волокна з великою мірою подовження ($l_b/d_b \gg$). Теоретичні розрахунки показують, що чим тонкіше та довше волокно, тим вище ступінь зміцнення. В якості матриць металевих композиційних матеріалів використовують метали: Al, Mg, Ti, жароміцний Ni та сплави на їх основі; для неметалевих - полімерні, вуглецеві, керамічні матеріали.

На рис. 1.1 зображені керамічні безперервні волокна SiC на вольфрамовій підложці, на рис. 1.2 - композиційний матеріал на Ni-Cr основі з SiC-волокнами.

Найпрочнішими з групи волокон з високими експлуатаційними властивостями є нитковидні кристали - "вуса". Практичну цінність викликають "вуса" сапфіру, графіту, бору, карбіду кремнію. Однак, не зважаючи на їх надвисокі міцнісні властивості, застосування "вусів" обмежується через наступні причини:

1. Вуса є відносно дорогими, тому що у більшості випадків для їх вирощування потрібен складний технологічний процес, дороге і складне устаткування.

2. "Вуса" можуть бути як міцними, так і "слабкими", однак поки що не існує надійного методу їх розсортування.

3. Незручність при їх переробці внаслідок малих розмірів і значної крихкості.

4. "Вуса" зміцнюють матриці менш ефективно, ніж безперервні волокна.

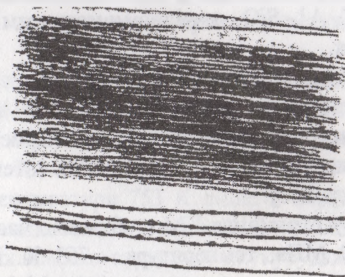


Рис. 1.1. Безперервні керамічні волокна з SiC

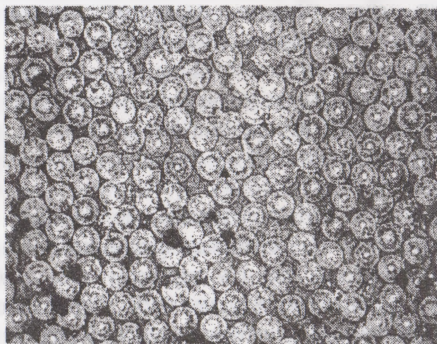


Рис. 1.2. Перетин композиційного матеріалу на Cr-Ni матриці з SiC безперервним і волокнами

Іншим, достатньо перспективним видом волокон є металевий високоміцний дріт; який має більш низьку міцність, ніж "вуса", але більш пластичний, недорогий і менш чутливий до механічних пошкоджень.

Безперервні одно- (бор-волокна) або багатозфазні волокна (волокна SiC, Al_2O_3 , та ін.) мають хорошу термостійкість, високу температуру плавлення і розглядаються як потенційні для промислового використання.

Волокна бору, карбиду кремнію і борсику (B-SiC), яким властиві висока міцність, жорсткість і невелика щільність, найбільш перспективні, для

зміцнення матриць на основі легких металів (Al, Mg, Ti) та їхніх сплавів. У літературі надається багато уваги алюмінію, армованому волокнами бору і карбіду кремнію, котрі отримують осадженням із газової фази бору і карбіду кремнію на нагріті до температури 1373... 1473 K поверхню вольфрамового дроту діаметром 12,5 мікрометра. Діаметр волокон, які випускає промисловість, складає 90... 150 мікрометрів. При виготовленні КМ на основі алюмінію застосовують рідинні і твердофазні методи (гаряче пресування, прокатку, екструзію, зварювання вибухом), а також процеси осадження. Так, за допомогою гарячого пресування отримують КМ Al-B, алюміній-борсик, Al-Be, алюміній-сталь, Al- SiC, Al- SiO₂, вихідними матрицями для котрих є фольга, стрічка, лист чи порошок.

Процес здійснюється у вакуумі, на повітрі чи в захисній атмосфері і контролюється напруженням текучості чи повзучості матричного матеріалу. Для зниження температури і тиску можуть використовуватися допоміжні засоби - припої, легкоплавкі чи такі, що утворюють евтектику, метали. Недолік методу - перериваність процесу.

Параметри процесу отримання КМ з об'ємною часткою волокон: час - 1 год, тиск - близько 50 МПа, температура - 753 K. Цим способом можна отримати багатошарові стрічки, листи, стрижні, профілі, лопатки компресорів і турбін.

Прокаткою виготовляють КМ, які армовані металевим дротом, наприклад К.М. Al-B, алюміній - сталь. Процес здійснюється за температури (0,7...0,9) Tпл і є напівбезперервним чи повністю безперервним.

Недолік: при великих ступенях обтіснення відбувається руйнування волокон. Щоб запобігти цьому явищу, застосовують поперечну прокатку. При цьому використовується матриця у вигляді фольги, стрічки, листа чи порошку. Прокаткою можуть бути отримані КМ у формі багатошарової стрічки, листів, балок.

Методом екструзії з КМ виготовляються прутики, труби, армовані безперервними чи дискретними, переважно металевими волокнами. Екструзія здійснюється як у холодному, так і в гарячому стані заготовки. Матриця використовується у вигляді порошку, прутиків і трубчастих заготовок. Як правило, екструзія здійснюється в спеціальних контейнерах.

Останнім часом зварюванням вибухом виготовляються КМ, армовані металевими волокнами, наприклад алюміній - сталь. Перевагами методу є його невисока вартість і можливість отримання листів та виробів великого розміру; недоліком - руйнування крихких волокон бору, карбіду кремнію і т. ін. Цим методом можна виробляти листи, плити, труби, оболонки.

Процеси осадження, які полягають у напиленні чи осадженні матричного матеріалу, застосовують звичайно у вигляді порошку чи дроту, наприклад при плазмовому напиленні, не є остаточними. Вони дозволяють отримувати напівфабрикати для наступного ущільнення. Найбільш розповсюдженим і доступним є напівфабрикат системи Al - B, отриманий плазмовим розширенням алюмінію з дроту на орієнтовані волокна бору.

Рідиннофазовими процесами, що полягають у просочуванні розплавом алюмінію і його сплавів армуючих волокон, можна виробляти КМ А1 - В, А1 - С, А1 - В/SiC, А1 - SiC, А1 - В, алюміній - сталь. Процес здійснюється у вакуумі чи контрольованій атмосфері за температури приблизно 973 К. Для запобігання взаємодії волокон бору чи сталі з розплавом застосовуються покриття, а для поліпшення змочуваності волокон розплавом - також покриття чи поверхнево-активні речовини.

Алюміній та його сплави за підвищених температур хімічно активні і схильні до взаємодії з волокнами бору в умовах отримання КМ і експлуатації. Взаємодія призводить до утворення крихких реакційних зон і зниження міцності волокон і КМ.

Волокна бору з алюмінієвою матрицею починають реагувати вже на стадії отримання КМ рідинно- і твердофазовими методами. Особливо інтенсивно ця реакція відбувається за температур понад 833 К. В інтервалі температур пресування 753...833 К зниження міцності волокон бору незначне. Після пресування за температури 753 К лише в окремих місцях на поверхні витравлених волокон видно сліди взаємодії. В основному поверхня зберігає характерну для вихідних волокон структуру «кукурудзяного качана».

Для зменшення взаємодії застосовують волокна борсику. Використання волокон борсику і волокон бору, покриття нітридом бору дозволяють значно підвищити температуру пресування, скоротити час процесу, а також забезпечують отримання безпорового монолітного матеріалу з високою міцністю зв'язку.

Основним методом виробництва КМ на основі алюмінію і його сплавів, армованих волокнами бору, є дифузійне зварювання, навіть застосовується просочення в вакуумі і заливання. Матриця для дифузійного зварювання повинна мати вигляд фольги чи порошку. Здійснюється зварювання у дві стадії: за підвищеної і зниженої температур у вакуумі і за розрідження до $6,7 \cdot 10^{-3}$ МПа або в контрольованій атмосфері чи водні.

Головні параметри процесу: температура - 853 К, тиск - 30 МПа, витримка - 120 с (високотемпературна стадія); температура - 727...773 К, тиск 35...50 МПа, витримка - 1800...5400 с (низькотемпературна стадія). Ущільнення відбувається в прес-формі і в камері з контрольованою атмосферою, в газостаті або автоклавах. Міцність КМ залежить від режиму виготовлення. Так, при пресуванні на повітрі міцність волокон знижується приблизно на 15 %, а при пресуванні в аргоні - на 13 %.

Дифузійним зварюванням виготовляються багат шарові листи, плити, труби, прутки та інші профілі. Прокатку для отримання композиційних матеріалів алюміній - бор застосовують дуже рідко і проводять найчастіше з невеликими ступенями деформації за кілька проходжень. Міцність КМ сплаву алюміній - бор залежить від методу отримання і режимів технологічного процесу, властивостей матеріалу, що застосовується для зміцнювана і матриці, вмісту армуючих елементів у КМ, напрямку їхньої укладки, марки сплаву матриці, діаметра зміцнюючих волокон і температури випробувань.

Композиційні матеріали на основі алюмінію з'єднуються за допомогою паяння, дифузійного, дугового і точкового зварювання, болтових, заклепкових, клейових, клейозварювальних та клейоболтових з'єднань.

Ідея зміцнення композиційних матеріалів оснований на утворенні гетерогенної структури, що являє собою пасма безперервних або дискретних волокон, які поєднанні у моноліт зв'язуючим - матрицею.

Маючи високу міцність, жорсткість і багато специфічних властивостей, композиційні матеріали вже зараз знаходять застосування у різноманітних областях техніки, але у зв'язку з їх виготовленням, області застосування композиційних матеріалів обмежуються в основному авіацією, газотурбінними двигунами, космічними апаратами (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Лопатка паливної системи газотурбінного авіадвигуна з характерною волокнистою армуючою структурою

В даний час ведуться роботи з вивчення можливості використання композиційних матеріалів у криогенній техніці, глибоководних апаратах, у медицині і т.і.

1.2 Порядок виконання роботи

Студент отримує зразки композиційних матеріалів. Виготовляє мікрошліф композиційного матеріалу. Вивчає мікроструктури зразків та фази. Замальовує мікроструктури зразків з позначенням фаз. Визначає функції кожної фази у мікроструктурі. Приводить таблицю основних властивостей матеріалу.

1.3 Зміст звіту

Назва роботи, мета роботи, теоретичні відомості, результати дослідження, аналіз результатів дослідження, висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке композиційні матеріали?
2. Чим пояснити велику зацікавленість до застосування композиційних матеріалів у авіаційній та ракетній техніці?
3. Яку функцію виконують у композиційному матеріалі волокна та матриця?
4. Чим відрізняються безперервні та дискретні волокна і яка їх класифікація?
5. Як підрозділяються КМ за схемою армування?
6. Який тип армування використовується для КМ з металевою матрицею?
7. Які властивості мають армуючі волокна?
8. Яким способом отримують волокна бору, карбиду кремнію та борсику?
9. Які види руйнувань існують у композиційному матеріалі?
10. Як визначаються механічні властивості композиційних матеріалів, які зміцнені дискретними або безперервними волокнами?
11. В яких галузях техніки переважно застосовуються композиційні матеріали?
12. Методи виготовлення композиційних матеріалів на основі алюмінію.
13. Недоліки гарячого пресування КМ на основі алюмінію.
14. Які існують методи виробництва КМ на основі алюмінію і його сплавів, армованих волокнами бору?
15. У чому полягає ідея зміцнення композиційних матеріалів?
16. Які головні параметри процесу дифузійного зварювання?
17. Від чого залежить міцність КМ алюміній-бор?
18. У чому полягають переваги волокон борсику у порівнянні з волокнами бору?
19. Переваги і недоліки методу зварювання вибухом
20. У чому полягає процес осадження
21. Особливості механічної обробки композиційних матеріалів
22. Яким чином відбувається просочення композиційних матеріалів.