

safety systems on modern generation nuclear reactors 3-3 + that prevent such scenarios (additional emergency water circulation system; system of hydrogen absorption; trap radioactive melt from the reactor core).

*Keywords:* man-made hazards, radiation hazardous objects, accidents at nuclear power plants.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Ткачук Андрій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теорії і методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

*Коло наукових інтересів:* теорія та методика викладання нормативних дисциплін «Безпека життєдіяльності та основи охорони праці» і «Цивільний захист» у вищих навчальних закладах.

УДК [53.54-126]:378.147

### ПРИНЦИПИ ДОБОРУ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ МАТРИЦІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Трифорова Олена**

*Кіровоградський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка*

**Анотація.** *Стаття присвячена важливій проблемі методики вивчення технологій виготовлення композиційних матеріалів на різних матрицях. Розкрито загальні технологічні методи виготовлення полімерних та металевих волокнистих і шаруватих композиційних матеріалів – вирошування кристалів наповнювача в матриці безпосередньо в процесі виготовлення деталей. Застосування композиційних матеріалів забезпечує новий якісний стрибок у збільшенні потужності двигунів, енергетичних і транспортних установок, зменшенні маси машин і приладів. Запропоновані конкретні приклади використання композиційних матеріалів у різних сферах життя людини та наведені компоненти навчального матеріалу щодо ознайомлення студентів з новітніми технологіями. Вцілому наведений у статті матеріал покращить зміст професійної підготовки студентів та забезпечить формування їх професійної компетентності.*

**Ключові слова:** *композиційні матеріали, наповнювачі, технології, матриці, методика навчання.*

**Постановка проблеми.** Композити – багатокомпонентні матеріали, що складаються з полімерної, металеві, вуглецевої, керамічної або іншої основи (матриці), армованої наповнювачами з волокон, ниткоподібних кристалів, тонкодисперсних частинок і ін. Шляхом підбору складу та властивостей наповнювача і матриці, їх співвідношення, орієнтації наповнювача можна отримати матеріали з необхідним поєднанням експлуатаційних і технологічних властивостей. Використання в одному матеріалі декількох матриць (поліматричні композиційні матеріали) чи наповнювачів різної природи (гібридні композиційні матеріали) значно розширює можливості регулювання властивостей композиційних матеріалів. Армуючі наповнювачі сприймають основну частку навантаження композиційних матеріалів. Такі матеріали широко використовуються у виробництві, побуті. Відповідно є необхідність ознайомити студентів із їх властивостями та будовою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Галузь створення композиційних матеріалів є актуальною так як безпосередньо пов'язана з нанотехнологіями. Методика їх навчання студентів є важливою складовою формування фахівця даної галузі. Значних досягнень набули роботи В.С. Копаня, В.В. Васильєва, Ю.М. Тарнопольського, Р. Ролінгса та інших. Проте з методики навчання студентів новітніх технологій робіт мало.

**Мета статті** полягає в розробці елементів методики формування уявлень студентів про композиційні матеріали. Для досягнення поставленої мети були використані наступні **методи дослідження:** вивчення, узагальнення, систематизація науково-методичної та психолого-педагогічної літератури з теми дослідження.

**Виклад основного матеріалу.** В ході вивчення навчальних дисциплін, які у тій чи іншій мірі зв'язані з вивченням будови та структури речовин доцільно звернути увагу студентів на деякі особливості, зокрема на структуру наповнювача. За структурою наповнювача композиційні матеріали поділяють на:

- волокнисті, що армовані волокнами і ниткоподібними кристалами;
- шаруваті, які виготовлені на основі армованих плівок, платівок, шаруватих наповнювачів;
- дисперсноармовані, або дисперснозміцнені з наповнювачем у вигляді тонкодисперсних частинок.

Основа або матриця в таких композиційних матеріалах призначена для забезпечення монолітності матеріалу, ефективної передачі і зваженого розподілу напруги в наповнювачах. Вона визначає теплову, вологу, вогневу, хімічну стійкість.

У ході виробничої та дослідної практики з'ясувалося, що за природою матричні матеріали поділяються на полімерні, металеві, вуглецеві, керамічні та інші композити.

Металева матриця композиційних матеріалів являє собою металевий матеріал, найчастіше Al, Mg, Ni та їх сплави. Зміцнення забезпечується високоміцними волокнами матеріалів чи тонко дисперсними тугоплавкими частинками. Вони не розчиняються в основному металі, а тому називаються дисперснозміцненими. Металева матриця пов'язує дисперсні частинки в єдине ціле.

Неметалеві матриці будуються на основі полімерних, вуглецевих та керамічних матеріалів. Найбільш поширеними є полімерні матеріали епоксидні, фенолоформальдегідні та поліамідні.

Досить поширеними є вугільні матриці. Останнім часом використовуються коксовані або піровуглецеві матриці виготовлені на основі синтетичних полімерів, підданих піролізу. Такі матриці пов'язують композицію, надають їй відповідної форми, де зміцнювачами слугують скляні, вуглецеві, борні, органічні, на основі ниткоподібних кристалів, волокна. Використовується також металевий дріт, що володіє високою міцністю і жорсткістю.

За механізмом армуючої дії композиційні матеріали з волокнистими наповнювачами ділять на дискретні та неперервні. У перших – волокна розміщені хаотично, а відношення довжини волокна до діаметру (від часток до сотень мікрометрів) відносно невелика. Чим більше відношення довжини до діаметру волокна, тим вища ступінь зміцнення.

Нині є поширеними композиційний матеріал з шаруватою структурою. У таких структурах кожен шар армований великим числом паралельних безперервних волокон. Шари можна виготовляти у вигляді витканого тканини з вихідною формою за шириною та довжиною відповідно до кінцевого матеріалу. Волокна можна сплітати в тривимірні структури, чим покращується міцність.

Важливо підкреслити, що композиційні матеріали відрізняються від звичайних сплавів за такими параметрами:

- більш високими значеннями тимчасового опору;
- високою межею витривалості;
- модулем пружності;
- коефіцієнтом жорсткості;
- зниженою схильністю до утворення тріщин.

Застосування вказаних вище технологій виготовлення композиційних матеріалів підвищує жорсткість конструкції та зниження їх металоємності. Міцність визначається властивостями волокон у матриці, де перерозподіляються напруги між армуючими елементами. Варто підкреслити, що міцність і модуль пружності волокон повинні бути значно більшими, ніж міцність і модуль пружності матриці.

Зміцнення алюмінію, магнію та їх сплавів відбувається із застосуванням борних волокон, волокон з тугоплавких сполук карбідів, нітридів, боридів та оксидів. Цим самим забезпечується висока міцність і модуль пружності. Титан і його сплави армують молібденовим дротом, волокнами сапфіру, карбідом кремнію і боридом титану.

Жароміцність нікелевих сплавів досягається армуванням вольфрамовим чи молібденовим дротом. Металеві волокна використовують і в тих випадках, коли потрібні високі теплопровідність і електропровідність.

Поширеними матеріалами для високоміцних і високомодульних волокнистих композиційних матеріалів є ниткоподібні кристали з оксиду і нітриду алюмінію, карбїду і нітриду кремнію, карбїду бору та ін.

Таким чином, композиційні матеріали на металевій основі мають високу міцність і жароміцність. Одночасно вони малопластичні. Волокна в таких матеріалах зменшують швидкість поширення тріщин і практично повністю припиняють раптове крихке руйнування. Особливою властивістю волокнистих одноосьових композиційних матеріалів є анізотропія механічних властивостей вздовж і впоперек волокон та мала чутливість до концентраторів напруги. Анізотропія властивостей волокнистих композиційних матеріалів враховується при конструюванні деталей для оптимізації властивостей шляхом узгодження поля опору з полями напруги [1]. Матриця може передавати напруги волокнам тільки тоді, коли існує міцний зв'язок на поверхні розділу армуюче волокно – матриця. Для запобігання контакту між волокнами матриця повинна цілком оточувати всі волокна, що досягається при вмісті її не менш 15-20 %. Матриця і волокно не повинні між собою взаємодіяти (має бути відсутня взаємна дифузія) при виготовленні та експлуатації, так як це може призвести до зниження міцності композиційного матеріалу. Армування алюмінієвих, магнієвих і титанових сплавів безперервними тугоплавкими волокнами бору, карбїду кремнію, бориди титану та оксиду алюмінію значно підвищує жароміцність. Особливістю композиційних матеріалів є мала швидкість руйнування міцності з часом при підвищенні температури [7].

Найбільш важливим недоліком композиційних матеріалів з одно- і двовимірним армуванням є низький опір міжшарового контакту і поперечному обриву. Цього позбавлені матеріали з об'ємним армуванням.

На відміну від волокнистих композиційних матеріалів у дисперснозміцнених композиційних матеріалах матриця є основним елементом, що несе навантаження, а дисперсні частинки гальмують рух у їх дислокації.

Висока міцність досягається при розмірі частинок 10-500 нм при середній відстані між ними 100-500 нм і рівномірному розподілі їх у матриці. Міцність і жароміцність в залежності від об'ємного вмісту зміцнюючих фаз не підпорядковуються закону адитивності. Оптимальний зміст другої фази для різних металів неоднаковий, але звичайно не перевищує 5-10 %. Використання як зміцнюючих фаз стабільних тугоплавких сполук оксидів торію, гафнію, ітрію, складні сполуки оксидів і рідкоземельних металів, які не розчиняються в матричному металі, дозволяє зберегти високу міцність матеріалу. У зв'язку з цим такі матеріали найчастіше застосовують як жароміцні. Дисперснозміцнені композиційні матеріали можуть бути отримані на основі більшості застосовуваних у техніці металів і сплавів. Найбільш широко використовують сплави на основі алюмінію – САП (спечений алюмінієвий порошок) [8].

Крім фізико-хімічних властивостей компонентів композиційних матеріалів їх властивості ще залежать і від міцності зв'язку між ними. Якщо між матрицею й арматурою відбувається утворення твердих розчинів або хімічних сполук, то досягається максимальна міцність. Коли використовується нуль-мірний наповнювач, то доцільно використовувати металеву матрицю. Рисунок на металевій основі зміцнюється рівномірно розподіленими дисперсними частинками, які володіють ізотропною властивістю.

У таких матеріалах матриця сприймає все навантаження, а дисперсні частинки наповнювача перешкоджають розвитку пластичної деформації. Ефективне зміцнення досягається при вмісті 5-10 % частинок наповнювача.

Армуючими наповнювачами слугують частинки тугоплавких оксидів, нітридів, боридів, карбідів.

Дисперсійнозміцнені композиційні матеріали отримують методами порошкової металургії або вводять частинки армувального порошку в рідкий розплав металу або сплаву.

Промислове застосування знайшли композиційні матеріали на основі алюмінію, зміцнені частинками оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Їх отримують пресуванням алюмінієвої пудри з подальшим спіканням САП. Переваги САП проявляються при температурах вище  $300^{\circ}C$ , коли алюмінієві сплави втрачають міцність. Дисперсійнозміцнені сплави зберігають ефект зміцнення до температури  $0,8T_{пл}$ . [10].

Сплави САП задовільно деформуються, легко обробляються різанням, зварюються аргонодуговим і контактним зварюванням. З САП випускають напівфабрикати у вигляді листів, профілів, труб, фольги. З них виготовляють лопасті компресорів, вентиляторів і турбін, поршневі штоки.

Властивості композиційних матеріалів залежать від складу компонентів, їх поєднання, співвідношення і міцності зв'язку між ними.

Армуючі матеріали можуть бути у вигляді волокон, джгутів, ниток, стрічок, багатошарових тканин. Зміст зміцнювача в орієнтованих матеріалах складає 60-80 %, в неорієнтованих (з дискретними волокнами і ниткоподібними кристалами) – 20-30 %. Чим вища міцність і модуль пружності волокон, тим вища міцність і жорсткість композиційного матеріалу. Властивості матриці визначають міцність композиції при зсуві та стиску і опір втомного руйнування. У шаруватих матеріалах волокна, нитки, стрічки, просочені сполучною речовиною укладаються паралельно один одному в площині укладання. Плоскі шари збираються в пластини. Властивості виходять анізотропними. Для роботи матеріалу у виробі важливо враховувати напрям діючих навантажень. Можна створити матеріали як з ізотропними, так і з анізотропними властивостями. Можна укласти волокна під різними кутами, варіюючи властивості композиційних матеріалів. Від порядку укладання шарів за товщиною пакета залежать згинні та крутильні жорсткості матеріалу. Застосовується укладання зміцнювачів з трьох, чотирьох і більше ниток. Найбільше застосування має структура з трьох взаємно перпендикулярних ниток. Зміцнювачі можуть розташовуватися в осьовому, радіальному та окружному напрямках. Тривимірні матеріали можуть бути будь-якої товщини у вигляді блоків, циліндрів. Об'ємні тканини збільшують міцність на відрив і опір зрушенню в порівнянні з шаруватими. Система з чотирьох ниток будується шляхом розкладання зміцнювача за діагоналями куба. Структура з чотирьох ниток рівноважна, має підвищену жорсткість при зсуві в головних площинах. Проте створення матеріалів із зміцнювачами у чотирьох напрямках складніше, ніж трьохнаправлених.

Найбільше застосування в будівництві та техніці отримали композиційні матеріали, армовані високоміцними і високомодульними безперервними волокнами. До них відносять: полімерні композиційні матеріали на основі терморективних (епоксидних, поліефірних, феноло-формальдегідних, поліамідних тощо) і термопластичних сполучних, армованих скляними (склопластики), вуглецевими (вуглепластики), органічними (органопластики), борними (боропластики) та іншими волокнами; металеві композиційні матеріали на основі сплавів  $Al$ ,  $Mg$ ,  $Cu$ ,  $Ti$ ,  $Ni$ ,  $Cr$ , армованих борними, вуглецевими або карбідкремнієвими волокнами, а також сталевим, молібденовим або вольфрамовим дротом; композиційні матеріали на основі вуглецю, армованого вуглецевими волокнами (вуглець-вуглецеві матеріали); композиційні матеріали на основі кераміки, армованої вуглецевими, карбідокремнієвими та іншими жаростійкими волокнами і  $SiC$ . При використанні вуглецевих, скляних, амідних і борних волокон, що містяться в матеріалі в кількості 50-70 %, створені композиції з питомою міцністю і модулем

пружності в 2-5 разів більшими, ніж у звичайних конструкційних матеріалів і сплавів. Крім того, волокнисті композиційні матеріали перевершують метали і сплави за втомною міцністю, термостійкістю, вібростійкістю, шумопоглинанням, ударною в'язкістю та іншими властивостями. Так, армування сплавів *Al* волокнами бору значно покращує їх механічні характеристики і дозволяє підвищити температуру експлуатації сплаву з 250-300 до 450-500°C. Армування дротом з *W* та *Mo* і волокнами тугоплавких сполук використовують при створенні жароміцних композиційних матеріалів на основі *Ni*, *Cr*, *Co*, *Ti* та їх сплавів. Так, жароміцні сплави *Ni*, армовані волокнами, можуть працювати при 1300-1350°C. При виготовленні металевих волокнистих композиційних матеріалів нанесення металевої матриці на наповнювач здійснюють в основному з розплаву матеріалу матриці, електрохімічним осадженням або напиленням. Формування виробів проводять головним чином методом просочування каркаса з армуючих волокон розплавом металу під тиском до 10 МПа або з'єднанням фольги (матричного матеріалу) з армуючими волокнами з застосуванням прокатки, пресування, екструзії при нагріванні до температури плавлення матеріалу матриці.

Один із загальних технологічних методів виготовлення полімерних та металевих волокнистих і шаруватих композиційних матеріалів – вирощування кристалів наповнювача в матриці безпосередньо в процесі виготовлення деталей. Такий метод застосовують, наприклад, при створенні евтектичних жароміцних сплавів на основі *Ni* і *Co*. Легування розплавів карбідним та інтерметалічними сполуками, що утворюють при охолодженні в контрольованих умовах волокнисті або пластинчасті кристали, призводить до зміцнення сплавів і дозволяє підвищити температуру їх експлуатації на 60-80°C. Композиційні матеріали на основі вуглецю поєднують низьку густину з високою теплопровідністю, хімічною стійкістю, постійністю розмірів при різких перепадах температур, а також зі зростанням міцності та модуля пружності при нагріванні до 2000°C в інертному середовищі. Високоміцні композиційні матеріали на основі кераміки отримують при армуванні волокнистими наповнювачами, а також металевими і керамічними дисперсними частинками. Армування безперервними волокнами *SiC* дозволяє отримувати композиційні матеріали, що характеризуються підвищеною в'язкістю, міцністю на вигин і високою стійкістю до окислення при високих температурах. Однак армування кераміки волокнами не завжди призводить до значного підвищення її міцних властивостей через відсутність еластичного стану матеріалу при високому значенні його модуля пружності. Армування дисперсними металевими частинками дозволяє створити кераміко-металічні матеріали (кермети), що володіють підвищеною міцністю, теплопровідністю, стійкістю до теплових ударів. При виготовленні керамічних композиційних матеріалів звичайно застосовують гаряче пресування, пресування з наступним спіканням, шлікерне лиття. Армування матеріалів дисперсними металевими частинками призводить до різкого підвищення міцності внаслідок створення бар'єрів на шляху руху дислокацій. Таке армування застосовують при створенні жароміцних хромонікелевих сплавів.

**Висновки.** Застосування композиційних матеріалів забезпечує новий якісний стрибок у збільшенні потужності двигунів, енергетичних і транспортних установок, зменшенні маси машин і приладів. Композиційні матеріали з неметалевою матрицею, а саме полімерні карбоволокнисті використовують в судно- і автомобілебудуванні (кузова гоночних машин, шасі, гребні гвинти), з них виготовляють підшипники, панелі опалення, спортивний інвентар, частини електронно-обчислювальних машин. Високомодульні карбоволокнисті застосовують для виготовлення деталей авіаційної техніки, апаратури для хімічної промисловості, в рентгенівському устаткуванні та ін. Карбоволокнисті з вуглецевої матрицею замінюють різні типи графітів. Вони застосовуються для теплового захисту, дисків авіаційних гальм, хімічно стійкої апаратури. Вироби з бороволокнітів застосовують в авіаційній і космічній техніці (профілі, панелі, ротори і лопатки компресорів, лопасті гвинтів, трансмісійні вали гелікоптерів і т.д.). Органоволокнисті застосовують в якості ізоляційного і конструкційного матеріалу в електро-радіо промисловості, авіаційній техніці і т.д. Запропонований вище матеріал, на нашу думку, покращить зміст професійної підготовки студентів та забезпечить формування їх професійної компетентності. **Перспективи подальших пошуків** пов'язані з подальшим удосконаленням методичної системи підготовки майбутніх фахівців з вищою освітою.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Горчаков Г.И. Строительные материалы: [учебник для вузов] / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1986. – 686 с.
2. Мэттьюз Ф. Композиционные материалы. Механика и технология / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс. – М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
3. Общий курс строительных материалов: [учебн. пос. для вузов] / [И.А. Рыбьев и др.]; под ред И.А. Рыбьева. – М.: Высшая школа, 1987. – 583 с.
4. Садовий М.І. Застосування ІКТ для дослідження систем з найменшою енергією / М.І. Садовий, М.В. Хомутенко, О.М. Трифонова // 36. наук. пр. Кам'янець-Подільського національного ун-ту імені Івана Огієнка – Серія педагогічна. – 2013. – Вип. 19: Інноваційні технології управління якістю підготовки майбутніх учителів фізико-технологічного профілю. – С. 234-237.

5. Садовий М.І. Методика використання мікроскопів у дослідженні властивостей сучасних конструкційних матеріалів / М.І. Садовий // Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – Кіровоград: РВВ КДПУ, 2016. – Ч. 1. – С. 240-248.
6. Садовий М.І. Методика формування експериментаторської компетентності у майбутніх учителів технологій / М.І. Садовий // Наукові записки. / Відп. за вип.: М.І. Садовий. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2015. – Вип. 8, Ч. 4. – С. 3-10. (– КДПУ ім. В. Винниченка).
7. Строительные материалы (Материаловедение): [учебн. изд.] / Микульский В.Г. и др. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – Ч. I. – 536 с.
8. Строительные материалы: [учебник для вузов] / Под ред. Г.И. Горчакова. – М.: Высшая школа, 1982. – 352 с.
9. Трифонова О.М. Взаємозв'язок еволюції технологій архітектури обчислювальних систем та сучасної наукової картини світу / О.М. Трифонова // Наукові записки. / Відп. за вип.: М.І. Садовий, О.В. Єжова. – Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2016. – Вип. 9, Ч. 3. – С. 16-21 (– КДПУ ім. В. Винниченка).
10. Эвальд В.В. Строительные материалы, их изготовление, свойства и испытания / Эвальд В.В. – С-Пб.: Л-М, 1933. – [14-е изд.]. – Режим доступа: [http://www.antiquebooks.ru/book\\_sim.php?book=17702](http://www.antiquebooks.ru/book_sim.php?book=17702)

*ПРИНЦИПЫ ОТБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МАТРИЦЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ*

**Трифонова Елена**

Статья посвящена важной проблеме методики изучения технологий изготовления композиционных материалов на различных матрицах. Раскрыты общие технологические методы изготовления полимерных и металлических волокнистых и слоистых композиционных материалов – выращивание кристаллов наполнителя в матрице непосредственно в процессе изготовления деталей. Применение композиционных материалов обеспечивает новый качественный скачок в увеличении мощности двигателей, энергетических и транспортных установок, уменьшении массы машин и приборов. Предложены конкретные примеры использования композиционных материалов в различных сферах жизни человека и приведены компоненты учебного материала для ознакомления студентов с новейшими технологиями. В целом приведенный в статье материал улучшит содержание профессиональной подготовки студентов и обеспечит формирование их профессиональной компетентности.

*Ключевые слова:* композиционные материалы, наполнители, технологии, матрицы, методика обучения.

*PRINCIPLES OF SELECTION OF MATRIX MATERIALS FOR COMPOSITE MATERIALS*

**Tryfonova Olena**

The article is devoted to the important problem of studying methods of manufacturing techniques of composite materials in various matrices. Reveals common technological methods of production of polymeric and metallic fibrous and layered composites – growing crystals filler matrix directly in the manufacturing process details. The use of composite materials provides a new qualitative leap in increasing the engine power, energy and transport systems, reducing the weight of vehicles and equipment. The proposed concrete examples of the use of composite materials in various fields of human life and are components of education materials to familiarize students with the latest technologies. On the whole material presented in the article content will improve the training of students and promote the formation of professional competence.

*Keywords:* composites, fillers, technology, matrix methods of teaching.

**ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА**

**Трифонова Олена Михайлівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка.

*Коло наукових інтересів:* дидактика фізики та технологій у вищій школі.

УДК 316.77:37.025

**ЗАГАЛЬНОКУЛЬТУРНА КОМПЕТЕНТНІСТЬ ЯК СКЛАДНИК  
КОМУНІКАТИВНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ДОКУМЕНТОЗНАВЦІВ:  
ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ СФОРМОВАНОСТІ**

**Тур Оксана**

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

*Анотація.* Стаття присвячена аналізу рівня сформованості загальнокультурної компетентності майбутніх документознавців як складника їхньої комунікативної компетентності, представлено змістове наповнення поняття «загальнокультурна компетентність», вказано науково-педагогічні