

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

можна застосовувати меншу температуру нагріву насіння, що є перспективним.

**Список використаних джерел**

1. Ткаченко С. Й., Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2007. - 76 с.
2. Experimental study of vacuum drying seeds of grain crops. / V. Adamchuk, V. Shvidia. // Mechanization in agriculture & conserving of the resources. 2018. Issue 2. P. 46–48.
3. Некоторые особенности термовакuumной сушки / Н. П. Дикий, А. М. Егоров, В. А. Кутовой и др. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. 2007. № 4 (16). С. 53–57.
4. Степаненко С.П., Швидя В. О., Коновал О.О., Попадюк І.С. Результати виробничих випробувань дослідного зразка вакуумної барабанної сушарки СВБ-10. Механіка та автоматика агропромислового виробництва: загальнодержавний збірник. Вип. № 3 (117) ІМА АПВ НААН—Глеваха, 2023. – С. 55-64.

DOI: <https://doi.org/10.37204/2786-7785-2023-3-6>.

© Швидя В.О. 2024

**УДК 678.046**

**ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У АГРАРНОМУ  
СЕКТОРІ**

Шейко Н.В., к.і.н., доцент, Висовень М.М., студент  
ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"

**Анотація.** Комплекс властивостей композитного матеріалу залежить не лише від властивостей матриці та зміцнювального матеріалу, але й від міцності зв'язку між ними, об'ємної частки зміцнювального компонента, розмірів і орієнтації волокон, їх термічної стійкості. Головну роль у зміцненні КМ відіграють армувальні компоненти.

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

**Ключові слова:** композитні матеріали, компоненти, зміцнювальний компонент, металева матриця, полімерна матриця.

**Постановка проблеми.** Досліджуються штучно створювані *матеріали*, що складаються з двох або більше хімічно різних компонентів, істотно відмінних за властивостями й розділених добре вираженою міжкомпонентною границею. Будь-який композитний матеріал (КМ) складається з неперервної в усьому його об'ємі матриці й зміцнювального компонента (арматури), розміщеного в ній за заданою закономірністю.

**Мета дослідження.** Металева матриця порівняно з іншими матрицями характеризується підвищеною міцністю, жорсткістю, електро- й теплопровідністю та задовільною пластичністю. Матриця є основним несучим елементом в дисперснозміцнених МКМ. Використовують дисперснозміцнені матеріали на основі алюмінію, берилію, заліза, кобальту, магнію, нікелю, вольфраму.

**Виклад основного матеріалу.** *Матриця* – це порівняно пластичний матеріал, вона надійно з'єднана зі зміцнювальним компонентом, надає готовому виробу потрібної форми, міцності та жорсткості й захищає зміцнювальний компонент від пошкоджень.

Матеріал матриці визначає загальну назву КМ, з огляду на що розрізняють композитні матеріали з металевою матрицею або *металеві композитні матеріали* (МКМ), з полімерною матрицею – *полімерні композитні матеріали* (ПКМ) й з керамічною матрицею – *керамічні композитні матеріали* (ККМ).

*Зміцнювальний компонент* повинен мати високу міцність і жорсткість, малу густину, добру хімічну тривкість й температурну стійкість, а також максимально досягну технологічність. Для армування композитних матеріалів застосовують порошкові, волоконні й шаруваті компоненти. Порошкові зміцнювальні компоненти – це зазвичай тверді важкоплавкі дрібні частинки карбідів оксидів, нітридів, що не розчиняються у матриці в усьому інтервалі температур експлуатації КМ. До волоконних компонентів належать неперервні та короткі волокна неорганічного й органічного походження, металевий дріт і сітки на їх основі. Волокна в МКМ гальмують поширення

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

тріщини в напрямку, перпендикулярному до них, і практично виключають раптове руйнування конструкції. Як пластинчастий зміцнювальний компонент використовують, наприклад, тканину, шпон, папір.

Структурною особливістю *дисперснозміцнених металевих композитних матеріалів* є спеціально введені в матеріал матриці дуже дрібні тугоплавкі частинки карбідів, оксидів, нітридів та ін., що не розчиняються в ній. Ці частинки характеризуються високою твердістю, хімічною тривкістю і модулем пружності та низькою густиною. Що дрібніші зміцнювальні частинки, менші відстані між ними й рівномірніше вони розподілені в матриці, то краще вони блокують рух дислокацій, підвищуючи міцність і жорсткість МКМ.

Найпоширеніший вид МКМ є матеріали типу САП (спечена алюмінієва пудра). Матрицею служить алюміній, зміцнювальним компонентом – частинки оксиду алюмінію  $Al_2O_3$ . Алюмінієва пудра з частинками завбільшки 1 мкм збагачується оксидом алюмінію під час її мелення в кульових млинах, де концентрація кисню менша, ніж в атмосфері. САП добре деформуються у гарячому стані, обробляються різанням, легко зварюються. З них виробляють профільні напівфабрикати, листи, фольгу і штамповки. САП застосовують для деталей з високою питомою міцністю й корозійною тривкістю (штоки поршнів, лопатки компресорів, труби теплообмінників).

Дисперснозміцнені металеві композитні матеріали на основі магнію порівняно високоміцні, легкі, відірні до рекристалізації й достатньо пластичні ( $\delta = 8...12\%$ ). Зміцнювальним компонентом служить оксид магнію  $MgO$  (оптимальна концентрація 1,0 %), а іноді – оксид берилію  $BeO$ . Щоб її підвищити, магнієву матрицю легують 2...8 % берилію. МКМ на основі магнію використовують у авіаційній, ракетній та ядерній техніці для виготовлення корпусних деталей.

Дисперснозміцнені МКМ на основі нікелю і його сплавів характеризуються високою жароміцністю й використовуються для роботи при температурах понад 1000 °С. Матрицею служить нікель або сплав нікелю з 20 % хрому (ніхром), а зміцнювальним компонентом – оксиди торію  $ThO_2$ , гафнію  $HfO_2$  або цирконію  $ZrO_2$ . Оксиди гафнію і торію дуже стабільні в нікелевій матриці навіть при або сплави високих температурах.

Найпоширенішим серед МКМ є бороалюміній ВКА-1. За міцністю при кімнатній температурі він перевищує конструкційні сплави алюмінію вдвічі, а

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

за жорсткістю – у 3,5 разу. Волокна бору, що займають у матеріалі ВКА-1 об'єм від 40 до 50 %, високоміцні ( $\sigma_b = 2800...3500$  МПа) та жорсткі при густині  $(2,50...2,65) 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Армування алюмінієвих сплавів безперервними волокнами з таких важкоплавких матеріалів як бор, карбіди кремнію, оксиди алюмінію істотно підвищує жароміцність МКМ.

Із МКМ алюмінієвий сплав-волокна SiC виготовляють труби, фасонні деталі, танкові траки, поршні для двигуна автомобіля тощо.

МКМ алюмінієва матриця-металевий дріт характеризуються підвищеними міцністю, модулем пружності та втомною міцністю. Металевий дріт використовують у вигляді волокон і сітки. Звичайно застосовують дріт  $\varnothing 20... 1500$  мкм, з високовуглецевих або легованих сталей з границею міцності  $\sigma_b = 1800...3150$  МПа. Границя міцності берилієвого дроту з вуглецевих сталей зберігається до температур  $350...450$  °С. Сталевий дріт належить до найдешевших зміцнювачів.

Перспективним зміцнювальним компонентом є берилієвий дріт з. Границя міцності берилієвого дроту  $\varnothing 50$  мкм становить  $\sigma_b = 1450$  МПа, а густина –  $1,84 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Зі сплавів алюмінію, армованих сталевим і берилієвим дротом, виготовляють деталі корпусів ракет й паливні баки літальних апаратів.

МКМ, матрицею яких є технічний магній чи його сплави, мають високу питому міцність, а також добру хімічну тривкість до більшості матеріалів волокон. Для армування матриці використовують волокна бору, вуглецю, оксиду алюмінію, карбіду кремнію, сталевий і титановий дріт. З волоконних композитних матеріалів на основі магнію виготовляють деталі літаків та ядерних реакторів.

Композитні матеріали на основі титану та його сплавів зміцнюють волокнами зі сплавів берилію, вольфраму, молібдену, бору, карбіду кремнію та оксиду алюмінію. їх перевагою над МКМ з алюмінієвою та магнієвою матрицями є вищі температури оксидації та корозійна тривкість. Серед недоліків МКМ з титановою матрицею – порівняно висока густина, вартість і технологічні труднощі, пов'язані з виготовленням виробів. МКМ на основі титану призначені для виготовлення лопаток вентилятора газотурбінних двигунів.

МКМ на основі нікелю мають вищу окалиностійкість і жароміцність порівняно зі спеціальними нікелевими окалиностійкими й жароміцними

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

сплавами. Зміцнювачами МКМ на нікелевій основі можуть бути волокна вуглецю, оксиду й нітриду алюмінію, карбіду й нітриду кремнію, карбіду бору та дріт з тугоплавких металів.

**Полімерна матриця** порівняно з металевою має меншу густину, вищу корозійну тривкість, кращі технологічні, тепло- й електроізоляційні властивості, а подекуди міцніша й жорсткіша. Недоліком більшості полімерних композитних матеріалів є порівняно невисока міцність зв'язку між матрицею та зміцнювальним компонентом, втрата основних властивостей при підвищенні температури до 100...200 °С й схильність до старіння.

Матрицею є різні полімери: фенолоформальдегідні, епоксидні, поліефірні та деякі інші термореактивні смоли й такі термопласти як поліетилен, поліпропілен, полістирол, поліаміди тощо. Порошкоподібними зміцнювальними компонентами служать тонкодисперсні частинки сажі, оксиду кремнію, деревинного борошна, крейди, тальку, графіту, металів. Порошкоподібний зміцнювач підвищує міцність, твердість і жорсткість, зменшує усадку, а в окремих випадках надає виробам з ПКМ специфічних властивостей, зокрема заданих тепло- й електропровідності.

**Матрицею у волоконних ПКМ** служать епоксидні, фенолоформальдегідні, поліефірні та інші смоли. Зміцнювальним компонентом волоконних полімерних композитних матеріалів є органічні, вуглецеві, борні, а також скляні волокна й металевий дріт.

**Органічні волокна** виробляють з льону, бавовни, лавсану, капрону, нейлону та ін.

**Скловолокна** мають високу міцність ( $\sigma_b = 3000 \dots 5000$  МПа), задовільну теплостійкість (350...550 °С), добру корозійну тривкість, низьку тепло- й електропровідність. Їх виготовляють, протягаючи або витискаючи розплавлену скломасу крізь фільтри – пристрої з отворами спеціальної форми.

ПКМ об'єднують у групи за назвою армувального волокна, полімерні композитні матеріали зі скляними волокнами називають скловолокнітами, з органічними волокнами – органоволокнітами, з вуглецевими волокнами – вуглеволокнітами, з борними – борволокнітами тощо. Найпоширенішими з них є **скловолокніти**. Вони характеризуються підвищеною міцністю й низькою ціною. Незважаючи на порівняно низький модуль пружності скляних волокон, скловолокніти за питомою жорсткістю перевершують леговані сталі та сплави алюмінію й титану. Скловолокніти використовують у суднобудуванні, транспортному машинобудуванні, для виготовлення

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

місткостей і труб.

**Органопластики** складаються з полімерної матриці й синтетичних волокон. Порівняно зі скловолокнітами вони мають вищу ударну в'язкість, питому міцність і жорсткість. Водночас органоволокніти значно дорожчі від скловолокнітів. Більшість органоволокнітів витримує температуру до 100... 150 °С, а деякі з них – до 200...300 °С. Органоволокніти застосовують як електроізоляційні й конструкційні матеріали в електротехніці, в автомобіле- й літакобудуванні.

**Вуглеволокніти** – композити з полімерної ( епоксидно-фенольної матриці) й високоміцних вуглецевих волокон. Вони характеризуються високою ударною в'язкістю, питомою міцністю і жорсткістю. Застосовуються в авіаційній та космічній техніці, автомобілебудуванні, для виготовлення спортивного інвентаря.

**Бороволокніти** – це ПКМ з полімерної матриці у вигляді епоксидної, поліефірної, фенолоформальдегідної та інших смол і волокон бору. Вони характеризуються підвищеними міцністю, жорсткістю, твердістю, тепло- й електропровідністю, витримують температуру в межах від 100 до 300 °С. Вироби з бороволокнітів застосовують у авіації й космічній техніці (панелі, лопатки гвинтів).

Особливістю **волоконних керамічних композитних матеріалів** (ККМ) є їх висока теплова стійкість, корозійна тривкість і водночас підвищена крихкість. Матрицею в ККМ служать нітрид й карбід кремнію, оксиди алюмінію й цирконію.

Як зміцнювальний компонент використовують волокна з вуглецю, карбіду кремнію або оксиду алюмінію. Для виготовлення ККМ можна використати порошкові, а також інші технології.

ККМ карбід кремнію (матриця) – вуглецеві покриті волокна мають високу міцність, жорсткість й теплостійкість (до 1000 °С).

ККМ на основі оксиду кремнію  $\text{SiO}_2$ , армовані волокнами з графіту, з  $\text{SiC}$  або з  $\text{Al}_2\text{O}_3$  широко застосовуються у космонавтиці для виготовлення теплозахисних елементів.

**Висновки.** Для **металевої матриці** найчастіше використовують алюміній, магній, титан, нікель, кобальт на їх основі. Армують МКМ високоміцними й високомодульними волокнами з бору, вуглецю, важкоплавких оксидів, карбідів, нітридів, а також волокнами зі сталі, берилію,

Міжнародна науково-практична конференція  
«Актуальні питання механізації, енергоефективності та логістики в аграрному  
секторі в умовах сучасних викликів»

вольфраму. З огляду на істотну відмінність властивостей матриці й волокон МКМ з однонапрямленими волокнами анізотропні й найміцніші вздовж волокон. Волокна за об'ємом займають в МКМ від 10 до 75 %, вони добре сприймають осьові навантаження. Орієнтація волокон повинна збігатись з напрямом найбільших напружень.

### Список використаних джерел

1. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: підручник для вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / А.С. Опальчук. - Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф» , 2011. - 792 с.

2 Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / М.А. Сологуб, І.О. Рожнецький, О.І. Некоз. - К.: Вища школа, 2002. - 374 с.

3. Попович В. Технології конструкційних матеріалів і матеріалознавство / В.Попович, В.Голубець. - Суми: Університетська книга, 2012. - Книга II. - 260 с.

**Abstract.** The complex properties of a composite material depends not only on the properties of the matrix and the reinforcing material, but also on the strength of the bond between them, the volume fraction of the reinforcing component, the size and orientation of the fibers, and their thermal stability. The main role in strengthening the CM is played by reinforcing components.

**Keywords:** composite materials, components, reinforcing component, metal matrix, polymer matrix.

© Шейко Н.В., Висовень М.М. 2024

УДК 001.31

## РОЗВИТОК НАУКИ І ТЕХНІКИ В КІНЦІ 20 СТОЛІТТЯ

Шейко Н.В., к.і.н., доцент, Гемба Я., студент  
ВП НУБіП України "Ніжинський агротехнічний інститут"