

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗРОБКИ ЕФЕКТИВНИХ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ ІЗ ВУГЛЕКОМПОЗИТІВ ДЛЯ АПК**

*Селезньов Ю.В., доктор технічних наук,  
Кузенко Д.В., кандидат технічних наук,  
Кузенко Л.М., кандидат технічних наук*  
Миколаївський державний аграрний університет

*Наведені результати розробки нової енергозберігаючої технології виготовлення деталей із вуглець-вуглецевих композиційних матеріалів, та напрямки щодо їх використання.*

### ***Постановка наукової проблеми:***

В останній час намітилась тенденція заміни важких металів на легкі неметалічні пластмаси, композити... Із всіх заміників на першому місці знаходяться вуглець-вуглецеві композиційні матеріали (ВВКМ), які в 5...10 разів легші сталі при тій же міцності. Крім того вони не втрачають міцність при підвищенні температури до 2000 К і зниженні до 0 К, володіють високою теплопровідністю, надійно працюють в окислювальному і лужному середовищах. В даний час деталі із ВВКМ широко застосовуються в сучасній авіації і космічній техніці [1,2,3].

В наземних умовах, зокрема в сільськогосподарській техніці, ці матеріали поки що не знайшли широкого застосування через високу вартість технології виготовлення, яка викликана великими затратами електроенергії, необхідними для підтримання температури в реакторі 920-1200<sup>0</sup>С.

### ***Аналіз останніх досліджень:***

Проблеми використання композиційних матеріалів для відновлення та виготовлення деталей розглянуті в роботах [1,2,3,4,5,9]. В згаданих роботах в основному вирішуються питання заміни традиційних матеріалів (металів, сплавів) на полімерні композиції для відновлення спрацьованих поверхонь деталей і їх спряжень. Так в роботі Дудчака В.П. [4] зроблений аналіз полімерних композицій для відновлення вузлів тертя, а також запропонований технологічний процес відновлення деталей композитами на основі фторопластів та термореактивних смол. Воронков Б.Д. [3] для підвищення несучої здатності вузлів тертя пропонує використовувати склонаповнені поліаміди із вмістом скловолокна до 30%.

Проте використанню вуглець-вуглецевих композитів приділено мало уваги, хоча вони мають значні переваги в порівнянні з полімерними. Це пояснюється недосконалістю і високою енергомісткістю технологічного процесу виготовлення деталей із вуглекомполімерів.

***Мета досліджень:***

Обґрунтування енергозберігаючої технології отримання виробів із вуглекомполімерів з керованими властивостями для умов сільськогосподарського виробництва.

***Результати досліджень:***

Вуглецевим волокнистим композитам (ВВК) належить особливе місце серед композиційних матеріалів завдяки їхнім унікальним властивостям змінювати в широкому діапазоні свої характеристики (від графіту до алмазу) тільки за рахунок технологічних параметрів при постійному хімічному складі. Тобто, потенційні можливості ВВК в даний час ще далеко не вичерпані і необхідно активізувати роботи з дослідження й оптимізації процесів отримання деталей з ВВК.

У результаті проведених нами досліджень встановлена можливість перенесення факелу із навколишньої атмосфери в топку котла і розміщенням там реактора, в якому відбувається процес карбонізації із газової фази. В цьому випадку не забруднюється навколишнє середовище, відпадає необхідність витрати електроенергії на підтримання заданого температурного режиму в технологічному циклі отримання ВВК. На дану технологічну систему отримано патент України № 5523 [7].

Вихідною сировиною для виробництва вуглецевих волокон являється деревина або інша волокниста рослинність, а для формування деталей (утворення матриці) - природний газ, метан та інші гази, які містять вуглець. Найбільш проста технологія виготовлення деталей із ВВК заключається у формуванні заготовки із вуглецевої тканини методом намотування або пресування, а в подальшому насичування в середовищі природного газу, механічна обробка і вторинне насичування. В результаті такої технології отримується легкий волокнистий композит з армуючим наповнювачем із вуглецевих волокон і матрицею із піролітичного вуглецю.

Для з'ясування фізичної суті газового насичування ВВК, можна представити, що заготовка деталі після процесу намотування або пресування тканини із вуглецевих волокон являє собою капілярно-пористе тіло. Перенесення маси в капілярно-пористих тілах обумовлене дифузією і термодифузією. При цьому під дифузією маси слід розуміти не тільки молекулярну дифузію газу, але і капілярний рух рідини і газу.

Хоча по своїй фізичній суті капілярний рух відноситься до молярного руху, який описується законами гідродинаміки, але умовно для полікапілярної структури він може бути віднесений до хаотичного руху, який називається капілярною дифузією.

Перенесення газу відбувається не тільки шляхом молекулярної дифузії (концентраційна і термічна), але і по закону фільтрації Дарсі, гідродинамічного характеру. Цей вид фільтрації через капілярнопористі тіла із звивистим шляхом також умовно можна віднести до фільтраційної дифузії. Таким чином, перенесення маси здійснюється дифузійним шляхом, якщо під дифузією розуміти хаотичний рух, який включає не тільки молекулярну, але і капілярну і фільтраційну дифузії. В результаті дифузійне перенесення маси описується системою диференціальних рівнянь параболічного типу [6].

Однак у випадку пористих середовищ стікання газу під дією перепаду тиску (фільтраційне стікання) не можна розглядати як фільтраційну дифузії. Диференціальне рівняння фільтрації являється частковим випадком диференціального рівняння перенесення маси в капілярно-пористих тілах:

$$\Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} = diV \left[ \frac{\rho \cdot K_a}{\eta} \nabla \rho + \rho \cdot \Delta h \right]. \quad (1)$$

Рівняння (1) описує рух газу в ізотермічному середовищі. Тут

$$K_a = K \left( 1 + \frac{a}{\rho} \right). \quad (2)$$

Коефіцієнт ізотермічного стиску позначимо через:

$$\beta = -\frac{1}{V} \left( \frac{dV}{d\rho} \right)_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{dP} \right)_T. \quad (3)$$

Якщо  $\beta$  рахувати постійним, то

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp \left[ \beta \cdot (P - P_0) \right]. \quad (4)$$

$$\nabla \rho = \beta \cdot \rho \cdot \nabla P. \quad (5)$$

Підставивши (5) в (1), отримаємо:

$$\Pi = \frac{\partial \rho}{\partial t} = d \cdot i \cdot V \left[ \frac{K}{\eta \cdot \beta} \cdot \nabla \rho + \frac{K \cdot \rho^2}{\eta} \nabla h \right]. \quad (6)$$

Якщо гравітаційний тиск не змінюється ( $h=const$ ), то

$$\Pi \frac{\partial \rho}{\partial t} = d \cdot i \cdot V \left[ \frac{K}{\eta \cdot \beta} \cdot \nabla \rho \right]. \quad (7)$$

У випадку фільтрації газів рівняння (7) може бути представленим в іншому виді.

Позначимо фактор стискування через  $\pi$ , тобто :

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{\pi \cdot R \cdot T} \quad (8)$$

З врахуванням ефекту Клінберга будемо мати:

$$\Pi \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P}{r \cdot T} \right) = d \cdot i \cdot V \left[ \frac{K}{\eta \cdot \pi \cdot T} \left( P + a \left( \nabla P + \frac{\mu \cdot P \cdot \nabla h}{\pi \cdot R \cdot T} \right) \right) \right], \quad (9)$$

при  $h = \text{const}$

$$\Pi \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P}{r} \right) = d \cdot i \cdot V \left[ \frac{K}{\eta \cdot \pi} \left( P + a \nabla P \right) \right], \quad (10)$$

Позначимо через  $P = P + a$ , тоді:

$$\Pi \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{P - a}{\pi} \right) = d \cdot i \cdot V \left[ \frac{K}{2\eta \cdot \pi} \nabla P^2 \right]. \quad (11)$$

Якщо  $\pi, b, K$  постійні, то:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \frac{K}{2\eta \cdot \pi} \nabla^2 \cdot P^2. \quad (12)$$

або

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{K \cdot P}{\eta \cdot \pi} \nabla^2 \cdot P^2, \quad (13)$$

Примінивши  $KP = KP_m = \text{const}$ , отримаємо рівняння моделювання дифузії через пористі середовища:

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{K \cdot P_m}{\eta \cdot \pi} \nabla^2 \cdot P^2. \quad (14)$$

Рушійною термодинамічною силою перенесення маси для однорідних тіл полікапілярної структури являються градієнти концентрації  $\left( w_i = \rho \Delta u_i \right)$  і температури  $\left( \Delta T \right)$ . Це складне перенесення хаотичного характеру розглядається як дифузійне перенесення, куди входить молекулярна, капілярна і фільтраційна дифузія.

Структура пористих тіл досить складна і характеризується однорідністю, анізотропністю, гетерогенністю. Структурні характеристики являються макроскопічними, а усереднення здійснюється по елементу об'єму радіуса  $r$ ; достатнього для застосування закону Дарсі.

Проникність  $K$  може бути визначена із закону Дарсі. Так, для одномірного перенесення:

$$V_x = -\frac{K}{\eta} \cdot \frac{\partial P}{\partial x}, \quad (15)$$

де  $V_x$  - лінійна швидкість перенесення;

$\eta$  - вязкість.

Проникність описується диференціальною поверхнею кривої розподілу  $f \left( \left[ \right. \right)$ , аналогічно диференціальній кривій розподілу пор  $f_s \left( \left[ \right. \right)$ .

Слід звернути увагу на деякі особливості і властивості вуглецевих волокон і вуглецю як унікального хімічного елементу. Вся жива природа зобов'язана вуглецю, як одному з основних компонентів складних біологічних композицій. Достаньо сказати, що в даний час відомо кілька мільйонів органічних з'єднань вуглецю. Цікавим фактором являється те, що вуглець сам по собі може утворити різні структури від графіту до алмазу з різко відмінними фізико-механічними властивостями. Це рідкий випадок можливості керувати властивостями матеріалу не його хімічним складом, а умовами формування структури вуглецю за рахунок керованих технологічних параметрів.

Зокрема, міцність деталей із ВВК залежить від якості і орієнтації волокон відносно напружень. Найсприятливішою умовою являється співпадання розтягуючих (стискуючих) напружень з напрямком розміщення волокон. В цьому випадку міцність буде найбільшою і визначається міцністю вуглецевих волокон, які можуть досягнути до 3000 МПа, а модуль пружності до 450 ГПа. Найнесприятливішим випадком буде орієнтація волокон поперек діючих напружень. Тому одна із головних задач проектування деталей машин із ВВК полягає у виборі оптимального намотування у відповідності із характером зовнішнього навантаження, яке викликає напруження в деталі.

Вуглецеві волокна отримують із віскозних поліакрилонітрильних (ПАН) волокон і кам'яновугільного пеку [8]. Кращої якості вуглецеві волокна отримують із віскозних волокон, які в свою чергу виробляються із целюлози - найбільш розповсюдженого відновлювального полімеру. Щорічно в природі синтезується близько 100 млрд. тон целюлози, яка міститься у всіх однорічних багаторічних рослинах. Це робить ВВК перспективним матеріалом для виготовлення найбільш навантажених і відповідальних деталей машин: вкладишів підшипників ковзання, поршневих кілець, поршнів, циліндрових втулок і т.ін.

Застосування ВВК дозволяє підвищити робочі температури в теплових двигунах і відповідно підвищити ККД на 20...30%, вирішити проблему роторних двигунів, які по економічності і надійності поступаються поршневим через великі втрати газу, труднощі забезпечення мащення і охолодження ротора.

Представляє також великий економічний інтерес відновлення зношених поверхонь деталей тертя із ВВК шляхом додаткового насичування їх в середовищі природнього газу, що забезпечить створення довговічних машин нового покоління.

## **Висновки:**

Наведені результати показують, що ВВК – це перспективний матеріал з керованими властивостями. Технологія виготовлення деталей з ВВК в даний час знаходиться в стані становлення і розвитку. Разом з тим використання ВВК вимагає перебудови інженерного мислення в процесі проектування, виготовлення і експлуатації машин. Специфікою тут, являється те, що деталь і матеріал створюються одночасно, тому інженер-конструктор повинен бути одночасно і технологом, так як саме в процесі технології формуються вихідні характеристики деталі.

Наступним етапом дослідження буде розробка інженерної методики розрахунку деталей машин з врахуванням різко вираженої анізотропії матеріалів ВВК - по теплопровідності, зносостійкості, електропровідності. Вирішення цього питання ускладнюється тим, що в більшості випадків приходиться вирішувати компромісну задачу, адже при визначенні орієнтації волокон конструктор повинен враховувати три фактори - міцність, теплопровідність, зносостійкість, але ці фактори, як правило, знаходяться в протиріччі. Тобто вирішення задачі залежатиме від степені важливості кожного фактора в кожному частковому випадку.

## **Список використаних джерел**

1. Браутман Л., Крока Р. Современные композиционные материалы. /пер. с англ. – М.: «Мир», 1970. – 672 с.
2. Васильев В.В. Механика конструкций из композиционных материалов. – М.: «Машиностроение», 1988. – 272 с.
3. Воронков Б.Д. Подшипники сухого трения.– Л., Машиностроение, 1979.
4. Дудчак В.П. Полімерні композиції для відновлення та виготовлення деталей машин //Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – 2001.– №8. – С. 244-249.
5. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Сапожникова А.В. Композиционные материалы в технике. – К.: “Техніка”, 1985. – 152 с.
6. Селезнев Ю.В. Проектирование деталей машин из композиционных материалов. – Николаев: РИО НКИ, 1989. – 58 с.
7. Селезнев Ю.В. Способ получения углерод-углеродных композитов. – К.: Патент Украины № 5523 от 28.01.96.
8. Симамура С. Углеродные волокна. /пер.с японского. М.: «Мир», 1987. – 304 с.

9. Фельдман Д.И., Дубровский Р.И. Изготовление и эксплуатация деталей из новых антифрикционных углеродистых материалов, работающих без смазки.-М., 1970.

УДК 678.067.7:539.4

*Аннотация*

**Перспективы разработки эффективных энергосберегающих технологий изготовления изделий из углекомполитов для АПК/Селезнев Ю.В., Кузенко Д.В., Кузенко Л.М.**

*В статье приведены результаты разработки новой энергосберегающей технологии изготовления деталей из углерод-углеродных композитных материалов, а также направления относительно их использования.*

УСС678.067.7:539.4

**The summary**

**Prospects of development of technologies that save up energy for manufacturing products from carbon composite fields for agrarian and industrial complex**

Seleznev J.V., Kuzenko D.V., Kuzenko L.M.

*In article results of development new of technologies that save up energy for manufacturing techniques of details from carbon - carbon composite materials, and also a direction concerning their use are resulted.*