

УДК 621.357:669.24

О.С. Дробот, С.Я. Підгайчук, Н.М. Яворська
Хмельницький національний університет, Україна
**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ОРІЄНТОВАНИХ
КАРБОПЛАСТИКІВ**

Запропоновані композиційні покриття вуглецевих волокон збільшили твердість композиту в 1,5-2 рази, зменшили коефіцієнт тертя, підвищили термофізичні властивості, зменшили анізотропію порівняно з композиційними матеріалами на основі вуглецевого волокна з покриттям гальванічного нікелю (в 2 рази).

Ключові слова: композиційні покриття, вуглецеве волокно, композиційні матеріали, нанопорошки, нікель.

О. С. Дробот, С. Я. Пидгайчук, Н. М. Яворская
**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ
ОРИЕНТИРОВАННЫХ КАРБОПЛАСТИКОВ**

Предложенные композиционные покрытия углеродных волокон повысили твёрдость композита в 1,5-2 раза, понизили коэффициент трения, увеличили термофизические свойства, уменьшили анизотропию в сравнении с композиционными материалами на основе углеродного волокна с покрытием гальванического никеля (в 2 раза).

Ключевые слова: композиционные покрытия, углеродное волокно, композиционные материалы, нанопорошки, никель.

O. S. Drobot, S. Ya. Pidgaychuk, N. M. Yavorska
**DEVELOPING MEASURES FOR THE INCREASING WEAR RESISTANCE OF ORIENTED
CARBOPLASTICS**

The proposed compositional coating of compositional carbon fiber the hardness increased the 1,5-2 times, reduced the coefficient of friction, enhanced thermophysical properties, reduced the anisotropy compared to compositional materials based on carbon fiber with a coating electroplating nickel (2 times).

Keywords: compositional coating, carbon fiber, compositional materials, nanopowders, nickel.

Вступ. Головною причиною виходу з ладу компресорних машин є низька зносостійкість матеріалів, з яких виготовлені деталі циліндро-поршневої групи – поршневі і ущільнюючі кільця для газових та повітряних поршневих компресорів. Часто такі деталі працюють в екстремальних умовах, тому матеріали з яких вони виготовлені повинні мати високі механічні, теплофізичні та антифрикційні властивості, а також підтримувати стабільність розмірів у процесі роботи.

Сучасні матеріали, з яких виготовляють ущільнюючі кільця не в повній мірі відповідають даним вимогам. При досить високих показниках механічних властивостей таким матеріалам притаманні низькі теплофізичні властивості або недостатня жорсткість. Наприклад, антифрикційний обпалений графіт (АО, 2П-1000,К-0), володіючи малою густиною, досить високою теплопровідністю, може надійно працювати лише при тисках в 3,0 - 4,0 МПа. Просочування цих матеріалів смолами чи металами дозволяє підвищити їх міцність в 2 рази, але при цьому значно знижується теплопровідність. Матеріали групи АТМ, АМС, основою яких є суміш штучного графіту з фенолформальдегідною або полісілоксановою смолами, витримуючи питомі навантаження до 8 МПа, мають недостатню зносостійкість.

Композиційні матеріали на основі політетрафторетилену (Ф-4, Ф4К20, флубон), володіють низьким коефіцієнтом тертя, але використовуються лише в ступенях низького тиску, так як основним недоліком матеріалів цього типу є малий опір деформації та низька теплопровідність.

Матеріали на основі термостійких полімерів (ПАМ-50, ПМ-67, (графелон-20) мають високу зносостійкість, але при терті без мащення зношують спряжену поверхню. Крім цього, ці матеріали досить дорогі, так як основою їх є дефіцитні полімерні смоли.

Властивості текстолітів також не в повній мірі задовольняють експлуатаційні потреби. Текстоліт ПТК при терті без мащення задовільно працює при питомих навантаженнях 1 МПа. Збільшення навантаження в 1,5 рази приводить до збільшення інтенсивності зношування більш ніж у 10 разів. В мастилах текстоліти можуть працювати при питомих навантаженнях до 10 МПа, але низька теплопровідність цих матеріалів викликає їх розшарування і сильний розігрів вузла тертя.

В зв'язку з цим в останні роки ведеться пошук складу і дослідження властивостей композитів на основі термореактивних смол армованих вуглецевими волокнами і вуглецевими тканинами .

Аналіз публікацій робіт вітчизняних і закордонних досліджень показав, що карбопластики виявились досить перспективними антифрикційними матеріалами, крім цього за показниками питомої жорсткості та міцності вони перевершують перелічені вище матеріали, а також сталь, титан і склопластики [1, 2, 3].

Проте створення та широке застосування таких матеріалів гальмується значною мірою через те, що орієнтовані карбопластики мають ряд недоліків: низьку температуру початку окислення в повітряному і кисневому середовищах, підвищену жорсткість і крихкість армованих вуглецевих волокон, а також значну анізотропію властивостей, яка досить сильно впливає як на механічні, так і на антифрикційні властивості. Також отримання вказаних композиційних матеріалів має технологічні складності, підготовка інгредієнтів композиційних матеріалів є досить енергоємними процесами.

Постановка задачі. Розробити технологію електролітичного нанесення на вуглецеві волокна нікелю з додаванням дисперсної фази у вигляді нанодисперсних нітридів силіцію; або суміші нанодисперсних нітридів титану, силіцію і ітрію. Створити композит, армований вуглецевими волокнами з нанесеним покриттям нікелю та включеннями дисперсної фази. Дослідити закономірності тертя та зношування створеного композиту в умовах тертя без мастила та з мастилом. Виявити вплив нанопорошків на анізотропію трибовластивостей карбопластика.

Результати експерименту. Як зазначалось суттєвим недоліком композитів з довгими та дискретними волокнами є анізотропія властивостей. Цей недолік намагаються усунути вибором схеми армування, введенням дисперсних наповнювачів, модифікуванням матриці, а також нанесенням на поверхню волокон різних сполук.

В роботі досліджувався вплив нанодисперсних сполук на антифрикційні властивості карбопластиків. Для цього була впроваджена технологія одержання нікелевого КЕП (використано електроліт блискучого нікелювання) на вуглецевих матеріалах з застосуванням таких нанопорошків - Si_3N_4 та сумішей $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN} + \text{Y}_2\text{O}_3$, як дисперсної фази. Для порівняння досліджувались гальванічні нікелеві покриття. Вдале поєднання фізико-механічних властивостей обумовило застосування нітриду алюмінію (нітрид алюмінію належить до сполук з найбільш високою теплопровідністю) для одержання КЕП з певними функціональними властивостями.

Зразки для досліджень виготовлені за такою технологією. На вуглецеве волокно, яке підготовлене у вигляді ниток, наносять електролітичні покриття на основі нікелю (для порівняння) та КЕП на основі нікелю з добавкою нанодисперсних нітридів. Після чого нитки ріжуть на відрізки довжиною 1-2 мм, змішують з розчином зв'язуючого (суміш епоксидіанової смоли та пластифікатора (бензофінол ЕБФ). Наповнення складає 50 – 70 %. Одержаний препрег заправляють в прес-форму і під тиском в 0,2 МПа одержують зразки. Одержані зразки витримують при кімнатній температурі близько 12 годин. Подальше затвердіння полімерної матриці проводять в термостаті при температурі 160 °С без навантаження.

Склад композиційних матеріалів подано в табл.1.

Таблиця 1.

Склад композиційних матеріалів

Номер зразка	Склад наповнювача	Відсотковий склад наповнювача : вуглецеве волокно / покриття, мас. %	Відсотковий склад КМ: наповнювач / зв'язуюче, мас. %
1	Вуглецеве волокно з КЕП Ni + Si_3N_4	47 / 53	70 / 30
2	Вуглецеве волокно з КЕП Ni + Si_3N_4	47 / 53	50 / 50
3	Вуглецеве волокно з КЕП Ni + TiN + $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{I}_2\text{O}_3$	45 / 55	68 / 32
4	Вуглецеве волокно з КЕП Ni + TiN + $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{I}_2\text{O}_3$	45 / 55	48 / 52
5	Вуглецеве волокно з гальванічним Ni	50 / 50	50 / 50
6	Вуглецеве волокно з гальванічним Ni	50 / 50	67 / 33

Одним із показників ефективності запропонованого матеріалу є отримання його високих трибологічних характеристик (низький коефіцієнт тертя, висока зносостійкість, термостійкість).

Випробування на знос проводили на установці ЗНМ-25 (рис. 1) при наступних вихідних режимах: контртіло - куля із сталі ШХ15 ($\varnothing = 12,7 \text{ мм}$, рис. 2); схема контакту: сфера-площина; рух ковзання – зворотно-поступальний; амплітуда переміщення $v_s = 2 \text{ мм}$; нормальне навантаження $Q_H = 1 \text{ кгс}$; частота пульсації 50 Гц; тривалість випробувань – 2 години; випробування проведені в режимі без мастила та з мастилом; шлях тертя $S = 100 \text{ м}$ (25000 циклів); ширину канавки витирання заміряли через кожних 25 м (6250 циклів).

Вибрані умови тертя дозволили інтенсифікувати процес зносу, зробити його більш жорстким, відповідно отримати трибологічні характеристики матеріалу (зносостійкість та інтенсивність зношування) за менш короткий термін випробувань [4].

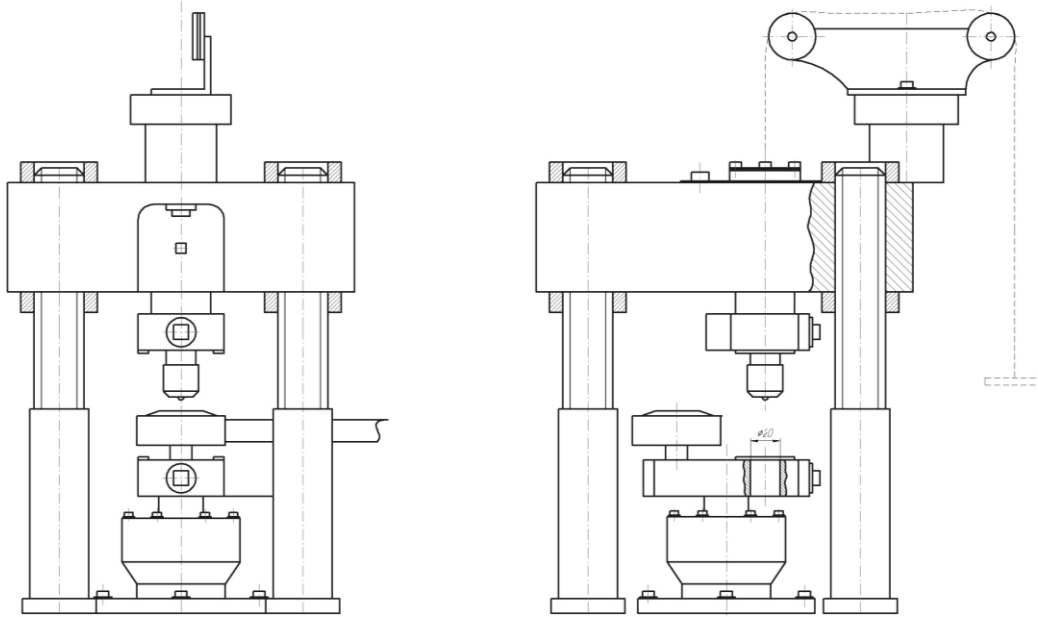


Рис. 1. Експериментальна частина установки ЗНМ – 25

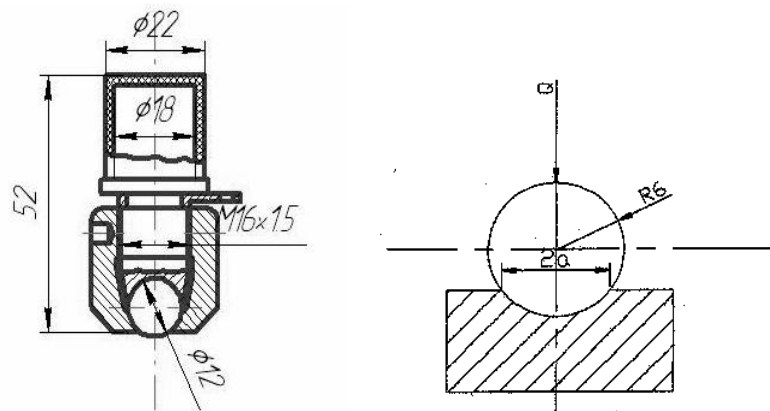


Рис.2. Контр тіло та схема контакту

Параметри найпростішої моделі зносу визначались за формулою [5]:

$$\frac{du_w}{ds} = k_w \sigma^m, \quad (1)$$

де u_w – знос зразка, м; k_w , m – параметри моделі зношування; s – шлях тертя, м; a – ширина канавки зносу, мкм; σ – тиск при заданій площі контакту, МПа ($\sigma = \frac{Q}{\pi a^2}$).

Для визначення параметрів нелінійних моделей фретинг-процесу, при незношуваній кульці, використано наступне рівняння [6]:

$$a(s) = \left[(2m+2) Rk_w \nu_s \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m s \right]^{\frac{1}{2m+2}} \quad (2)$$

або

$$[a(s)]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w \nu_s \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m s. \quad (3)$$

Проведено два досліди ($s^{(1)}$, $a(s^{(1)})$) та ($s^{(2)}$, $a(s^{(2)})$), які дозволили записати наступні залежності для ширини канавки в залежності від шляху тертя:

$$[a(s^{(1)})]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w \nu_s \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m s^{(1)}; \quad (4)$$

$$[a(s^{(2)})]^{2m+2} = (2m+2) Rk_w \nu_s \left(\frac{Q}{\pi} \right)^m s^{(2)}.$$

Таблиця 2.

Експлуатаційні властивостей КМ

Склад наповнювача	Відсотковий склад КМ: наповнювач / зв'язуюче, мас.%	Твердість, МПа	Теплостійкість за Мартенсом, °С	Антифрикційні властивості	
				Зношування, U_w , мм [4,5,6]	Коефіцієнт тертя
Вуглецеве волокно + КЕП Ni + Si ₃ N ₄	70 / 30	543	220	15,23	0,09
Вуглецеве волокно + КЕП Ni + Si ₃ N ₄	50 / 50	404	210	17,5	0,10
Вуглецеве волокно + КЕП Ni + TiN + Si ₃ N ₄ + I ₂ O ₃	68 / 32	595	230	13,5	0,08
Вуглецеве волокно + КЕП Ni + TiN + Si ₃ N ₄ + I ₂ O ₃	48 / 52	450	214	15,23	0,09
Вуглецеве волокно + гальванічний Ni	50 / 50	200	200	23,7	0,14
Вуглецеве волокно + гальванічний Ni	67 / 33	220	205	20,3	0,12
Прототип	5-30/ 95-70	270-274	-	-	0,20-0,48 при P=0,6 МПа ; v=1 м /с; 0,09-0,20 при P=1 МПа ; v=1 м /с;

З відношення наведених рівнянь:

$$\left[\frac{a(s^{(1)})}{a(s^{(2)})} \right]^{2m+2} = \frac{s^{(1)}}{s^{(2)}}, \quad (5)$$

отримали

$$m = \frac{1}{2} \left[\frac{\ln \frac{s^{(1)}}{s^{(2)}}}{\frac{a(s^{(1)})}{a(s^{(2)})}} - 2 \right]. \quad (6)$$

З першого рівняння системи (4) знайшли другий параметр:

$$k_w = \frac{[a(s^{(1)})]^{2m+2}}{(2m+2)Rv_s \left(\frac{Q}{\pi}\right)^m s}. \quad (7)$$

При великих амплітудах $v_s > 100$ мкм залежністю зношування від амплітуди можна знехтувати.

Отримані параметри дозволили розрахувати зношування за формулою (8):

$$u_w = \frac{k_w \cdot \sigma^m \cdot s}{m+1}. \quad (8)$$

Результати випробувань КМ подані в таблиці 2.

Висновки.

Запропоновані заходи збільшили твердість композиту в 1,5-2 рази та зменшили коефіцієнт тертя. Композит з запропонованими наповнювачами має вищі термофізичні властивості, ніж матеріали з вуглецевими волокнами. Наявність нановключень сприяє зменшенню анізотропії трибологічних властивостей КМ, та підвищенню їх твердості порівняно з КМ на основі вуглецевого волокна з покриттям гальванічного нікелю (в 2 рази).

Розроблені композиційні матеріали на основі епоксидних смол та волокнистого наповнювача можуть знайти застосування в машинобудуванні як підшипники ковзання без використання мастильних речовин, а також втулок, вкладишів, ущільнювальних кілець і інших виробів, здатних працювати в важконавантажених вузлах в умовах сухого тертя, при підвищених температурах і в агресивних середовищах.

Список літератури:

1. Савчук Петро Петрович, Кашицький Віталій Павлович, Маткова Ада Василівна Антифрикційний полімер композиційний матеріал UA 60554 C08K 3/00, C08K 3/04 (2007.01), F16C 33/16 (2007.01);
2. Струк Васілій Александровіч (ВУ); Костюковіч Геннадій Александровіч (ВУ); Кравченко Віктор Івановіч (ВУ); Овчінніков Євгеній Віталєвіч (ВУ); Семеняко Міхаїл Міхаїлович (ВУ); Ларін Іван Юрьєвіч (ВУ) Композиційний матеріал для триботехнічних покриттів №74605 C08L 77/00, C09D 177/00, C08K 3/04 (2007.01);
3. Баштаник Петро Іванович, Криволапов Дмитро Сергієвич Композиційний матеріал на основі поліаміду UA 77599 C08L 77/00 C08K 7/00 C08K 3/00 C08L 75/00
4. Жесткий контакт шара и плоскости с износом /Кузьменко А.Г., Сытник С.В., Кузьменко Г.А. / Проблемы трибологии, 1998, №2. -С. 21-40;
5. Количественная оценка фреттинг-коррозии радиального подшипника при пульсирующей нагрузке. Сообщение 2 / А.Г.Кузьменко, Б.С.Вольнский, Л.В. Заболотная // Пробл. Трибологі. – 1998. - №3. С.44-59.
6. Методы испытаний на износ /А.Г.Кузьменко, С.В.Сытник // Пробл. Трибологі. – 1999. - №2 (12).- С.38-109.

Рецензент:

Диха Олександр Володимирович, завідувач кафедри зносостійкості та надійності машин Хмельницького національного університету, доктор технічних наук, професор.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2016.