

**Криль А.О.,
Криль Я.А.,
Дрогомирецький Я.М.**
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна

**КОНСТРУКЦІЙНА КЕРАМІКА
НА ОСНОВІ КАРБІДУ КРЕМНІЮ
ДЛЯ ВУЗЛІВ ТЕРТЯ
І ДЕТАЛЕЙ НАФТОГАЗОВОГО ТА
ХІМІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

Вступ

Конструкційну карбідокремнієву кераміку з високими показниками фізико-механічних властивостей найчастіше отримують методами гарячого пресування і активованого спікання. Однак недоліками цих методів є висока енергоємність виробництва, висока якість вихідних порошків SiC та обмеження по формі і розмірах виготовлених деталей. Вказані недоліки можна частково усунути методом реакційного спікання, при якому пористу заготовку із суміші порошку карбіду кремнію і вуглецю (нафтовий кокс) просочують розплавленим кремнієм. Як вихідні матеріали використовували порошки карбіду кремнію виробництва Донецького заводу хімічних реактивів (ГОСТ 26327-84). Отримана кераміка володіє хорошими фізико-механічними характеристиками у порівнянні з кращими зразками вітчизняних і зарубіжних фірм (табл. 1), а її виробництво методом реакційного спікання є більш продуктивним і відносно малозатратним [1, 2].

Таблиця 1

Порівняльна характеристика фізико-механічних властивостей керамічних матеріалів на основі карбіду кремнію

Вид матеріалу, фірма і країна виробник	Питома маса ρ , г/см ³	Коефіцієнт тріщиностійкості K_{Ic} , МПа·м ^(1/2)	Модуль пружності E , ГПа	Міцність на згин σ , МПа	Мікротвердість HV, ГПа
Реакційноспечений SiC, ООО "Вириал", Росія	2,95 - 3,15	3,5 - 4,0	360 - 395	250 - 400	21 - 31
Реакційноспечений SiC, "Carborundum", США	2,9 - 3,0	3,5 - 4,0	350 - 380	250 - 500	26 - 30
Гарячепресований SiC, "Carborundum", США	3,05 - 3,2	3,0 - 4,0	410 - 450	550 - 800	30 - 43
Реакційноспечений SiC, ІФНТУНГ	2,9 - 3,0	3,5 - 4,0	350 - 370	350 - 400	26 - 30

Постановка задач

Низька зносостійкість вузлів тертя (торцевих ущільнень, підшипників ковзання) вітчизняних відцентрових насосів, які використовуються при видобутку і переробці нафти та газу призводить до передчасної відмови обладнання із-за витoku рідини і веде до зменшення ресурсу роботи. Наприклад, вузли тертя відцентрових насосів складають лише до 8 % маси агрегату, але вони є причиною 80-90 % відмов цілого насосу. Керамічні матеріали на основі реакційноспеченого карбіду кремнію, завдяки унікальному поєднанню властивостей, здатні працювати в умовах інтенсивного гідро- та аероабразивного зношування, корозійного та температурного впливу і знаходять застосування у різних вузлах тертя та ущільнень нафтогазового і хімічного обладнання. Використання карбіду кремнію як матеріалу для підшипників ковзання і пар тертя ущільнень дозволить підвищити їх роботоздатність та довговічність та суттєво зменшити затрати на ремонтні роботи [2].

Однією з основних причин відмов нафтогазового обладнання є газоабразивне зношування устаткування. До такого виду руйнування схильні деталі запірно-регулюючої арматури і аероабразивооструменеві сопла, які використовуються для проведення антикорозійних робіт – очищення поверхонь нафтогазопроводів та нафтогазосховищ до необхідної якості і покриття їх антикорозійними покриттями. Сопла призначені для прискорення абразивно-повітряної струмини до надзвукової швидкості. Стальні сопла підлягають швидкому газоабразивному зношуванню, що вимагає їх часті заміни. Сопла з твердих сплавів відзначаються високими експлуатаційними характеристиками, але дефіцитність і висока вартість вихідної сировини обмежує їх широке застосування на практиці. За рахунок використання зносостійких конструкційних керамічних матеріалів, зокрема реакційноспеченого карбіду кремнію можна замінити тверді сплави і підвищити довговічність деталей, які взаємодіють з газоабразивним потоком.

Зміст і результати досліджень

Дослідження процесів зношування проводилися з реакційноспеченого карбїду кремнію одержаного в лабораторії керамічних конструкційних матеріалів ІФНТУНГ, фізико-механічні характеристики якого наведені у табл. 1. Але однією з умов раціонального застосування кераміки у вузлах тертя нафтогазового обладнання є в'яснення закономірностей руйнування при терті і зношуванні цих матеріалів. З цією метою розроблено комплекс досліджень параметрів тертя і зношування керамічного матеріалу на основі карбїду кремнію в умовах сухого тертя ковзання і взаємодії з потоком абразивних частинок.

Найменше зношування при терті керамічних матеріалів спостерігається в однойменних парах тертя, а в парах кераміка – сталь відбувається інтенсивне зношування та мікрорізання металу більш твердою керамікою, в результаті чого ресурс такої пари тертя є обмежений [3]. Крім того, практично неможливо провести випробування в контактї з нетермообробленими (з низькою агрегатною твердістю) металевими контртілами через виникнення задири і, як наслідок, – катастрофічне руйнування контртіла, або руйнування керамічного зразка.

У зв'язку з вищевикладеним дослідження реакційноспеченого карбїду кремнію проводили в однойменних парах тертя кераміка – кераміка методом витирання канавки за схемою “ролик – нерухомий ролик”. Випробування в умовах сухого тертя ковзання було реалізовано на машині тертя СМЦ-2. При цьому верхній ролик закріплювався нерухомо і саме на цьому зразку витиралась лунка. Об'ємне зношування кераміки розраховували виходячи з ширини зразка, радіусів і хорди лунки.

Особлива увага зверталась на шорсткість робочих поверхонь зразків, оскільки цей фактор суттєво впливає на антифрикційні характеристики кераміки. На попередньо шліфовані бічні і внутрішню циліндричну поверхню керамічного зразка наносилась епоксидна смола ЕП-20, після затвердіння якої циліндрична поверхня ролика шліфувалась до діаметра 50 мм і притиралась алмазними пастами. Шорсткість робочої поверхні доводили до $Ra = 0,32-0,63$ мкм. Перед проведенням випробувань поверхні зразків обезжирювали етиловим спиртом. Для уникнення явища викришування керамічні зразки закріплювались на робочому валі машини тертя через спеціальну перехідну втулку.

Тертя здійснювали без змащування на повітрі в діапазоні швидкостей ковзання 0,8 - 2,6 м/с і навантаженнях 20, 50, 80 Н. Шлях тертя змінювався у залежності від режимів випробувань і складав від 1 до 8 км. Дослідження припинялись при досягненні довжини лунки 10 мм. Це робилось для збереження подібності контактної-силових процесів у зоні тертя. На кожній з трьох швидкостей проводили випробування при трьох різних навантаженнях. Для кожного режиму проводили 4 - 5 експериментів, що забезпечило відповідну статистичну надійність результатів трибовипробувань та похибку не більш 1 %.

Зносостійкість матеріалу визначали за об'ємом витертої лунки (мм^3) як відношення зносу до шляху тертя. Для знаходження об'єму лунки вимірювалась її довжина за допомогою мікроскопу зі збільшенням у 60 разів. Обчислення об'єму здійснювалось з використанням макрофункції написаної для системи Excel. Поверхня витертої лунки досліджувалась із застосуванням металографічного аналізу з використанням оптичного та растрового електронного мікроскопу. Під час трибовипробувань записувався момент тертя, через який розраховувався коефіцієнт тертя в досліджуваній парі. Дані трибовипробувань наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати триботехнічних випробувань керамічного матеріалу з реакційноспеченого карбїду кремнію

№ п/п	Швидкість ковзання V , м/с	Навантаження N , Н	Інтенсивність зношування I , $\text{мм}^3/\text{км}$	Коефіцієнт тертя, f
1	0,8	20	5	0,42
2	0,8	50	7	0,32
3	0,8	80	14	0,29
4	1,4	20	6	0,38
5	1,4	50	9	0,22
6	1,4	80	19	0,24
7	2,6	20	8	0,36
8	2,6	50	12	0,18
9	2,6	80	27	0,15

Аналіз результатів випробувань свідчить, що зі збільшенням швидкості ковзання і навантаження коефіцієнт тертя знижується, а інтенсивність зношування зростає, причому швидкість ковзання більш ін-

тенсивно впливає на цей процес. Таку поведінку кераміки на основі карбіду кремнію можна пояснити тим, що зі збільшенням швидкості ковзання та навантаження в умовах сухого тертя на повітрі характерним є підвищення температури в зоні контакту. При цьому частково окислюється кремній з утворенням оксиду SiO_2 . Утворена при терті плівка оксиду кремнію надійно захищає керамічний матеріал від окислення при терті і як результат спостерігається тенденція до поступового зниження коефіцієнта тертя і підвищення інтенсивності зношування реакційноспеченого карбіду кремнію.

Відносно малі значення інтенсивності зношування кераміки, очевидно, пов'язані з гладким рельєфом поверхні SiC . Отриманий результат входить в певне протиріччя з даними наведеними в [3]. Там, більша інтенсивність зношування спостерігалась при низьких значеннях швидкості ковзання і навантаження, але випробовувалась пара тертя SiC – сталь. На триботехнічні характеристики карбіду кремнію впливає мікроструктура матеріалу, важливе значення відіграє морфологія зерен і їх розміщення по розмірах, присутність в структурі пор. Дослідження поверхонь зношування і аналіз профілографування дозволяють зробити висновок, що основним механізмом зношування реакційноспеченого карбіду кремнію в умовах сухого тертя кераміка – кераміка є крихке механічне руйнування. Поверхня зношування мала однаковий вигляд мікровикришування при всіх швидкостях ковзання і навантаженнях.

Дослідження карбідокремнієвої кераміки в умовах газоабразивного зношування у порівнянні з твердим сплавом ВК8 проводили на відцентровому прискорювачі твердих частин за методикою, передбаченою ГОСТ 23.201-78 [4]. Як абразив використовували просіяний пісок з розміром зерен $d_r = 0,4 - 1,0$ мм. Маса абразиву – 5 кг. Зношування матеріалів здійснювалось за кутів атаки абразивних частинок 30, 60 і 90°, та швидкості частинок $V_n = 76$ м/с.

Дослідні і еталонні зразки виготовлялися з розмірами $20 \times 15 \times 4(5)$ мм, шорсткістю робочої поверхні $Ra = 0,16 - 0,32$, без гострих кромки. Еталонні вірці виготовлялися зі сталі 45 у відпаленому стані за ГОСТ 1050-74.

Попередньо всі зразки припрацьовувались, після чого проводились основні дослідження. Відомо, що на початковій стадії процес зношування протікає зі змінною інтенсивністю. Припрацювання потрібне для стабілізації інтенсивності процесу зношування. Режимми припрацювання були ті ж, що й при основних випробуваннях.

Величину зношування досліджуваних і еталонних зразків визначали шляхом зважування на аналітичній вазі ВЛР-200, з точністю 0,05 мг до і після випробувань. Результати дослідження зносостійкості наведені в табл. 3.

Таблиця 3

**Відносна зносостійкість ϵ матеріалів при різних кутах атаки
(швидкість потоку 76 м/с, еталонний матеріал – сталь 45)**

Матеріал	Відносна зносостійкість ϵ		
	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
Сталь 45	1	1	1
SiC , ІФНТУНГ	20,7	2,04	0,29
ВК8	19,8	11,15	15,65

Встановлено, що за малих кутів дії абразивних частинок ($\alpha < 30^\circ$) зносостійкість реакційноспеченого карбіду кремнію більша ніж за таких же аналогічних умов у сплаву ВК8, проте при кутах 60 і 90° твердий сплав показав значно кращий результат. Зношування реакційноспеченого карбіду кремнію в потоці абразивних частинок має вибірковий характер і пояснюється особливостями мікроструктури цього матеріалу. Спочатку відбувається руйнування крихкої міжзернової фази з вільного кремнію, через утворення тріщин. Далі викришуються крупні частинки каркасу карбіду кремнію. Результати проведених досліджень свідчать, що здатність протистояти газоабразивному зношуванню дозволяє рекомендувати карбід кремнію як матеріал для аероабразивоструменевих сопел та вузлів запірно-регулюючої арматури.

Висновки

1. Проведено дослідження реакційноспеченого карбіду кремнію в умовах тертя ковзання кераміка – кераміка без мастила в широкому діапазоні швидкостей і навантажень. Запропонована схема витривання лунки відрізняється високою чутливістю при випробуваннях пар тертя з кераміки і завдяки простоті може ефективно застосовуватися при проведенні досліджень. Встановлено ступінь впливу основних факторів (швидкості ковзання і навантаження) на інтенсивність зношування та коефіцієнт тертя. Із збільшенням швидкості ковзання і навантаження коефіцієнт тертя знижується від 0,42 до 0,15, а інтенсивність зношування зростає від 5 до 27 $\text{мм}^3/\text{км}$. Основною причиною зношування є крихке механічне руй-

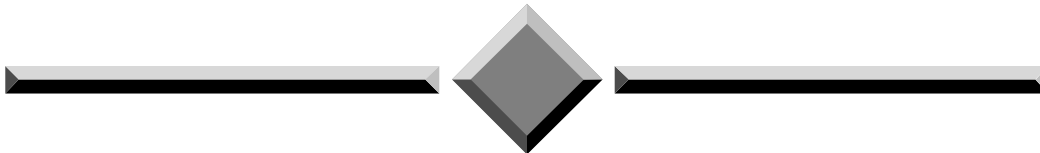
нування. Результати проведених досліджень свідчать, що застосування карбідокремнієвих матеріалів для високошвидкісних вузлів тертя насосних агрегатів нафтогазової галузі (торцеві ущільнення, підшипники ковзання) є доцільним і перспективним.

2. Досліджено зносостійкість карбіду кремнію одержаного методом реакційного спікання в умовах газоабразивного зношування при зміні кута атаки абразивних частинок. Установлено, що за великих кутів атаки ($\alpha > 60^\circ$) карбід кремнію характеризується меншою зносостійкістю ніж твердий сплав ВК8, проте за малих кутів атаки ($\alpha < 60^\circ$) SiC показав кращі результати. Таким чином, конструкційну кераміку на основі SiC можна широко застосовувати як зносостійкий матеріал для виготовлення абразивоструменевих сопел та деталей запірно-регулюючої арматури в нафтогазопромисловому і хімічному обладнанні.

Література

1. Гнесин Г.Г. Бескислородные керамические материалы / Г.Г. Гнесин. – К.: Техніка, 1987. – 152 с.
2. Керамика для машиностроения / А.П. Гаршин, В.М. Гропянов, Г.П. Зайцев, С.С. Семенов. – М.: Научтехлитиздат, 2003. – 384 с.
3. Влияние скорости скольжения на износ пары керамика – сталь при трении без смазки / А.М. Ковальченко, И.И. Осипова, Ю.Г. Гогоци и др. // Трение и износ, – 1992. – 13, № 4, – С. 654-663.
4. Клейс И.Р. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия / И.Р. Клейс, Х.Х. Ууэмыйс. – М.: Машиностроение, 1986. – 157 с.

Надійшла 26.10.2010



ЧИТАЙТЕ

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

INTERNET !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>