

РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ КІЛЕЦЬ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ІЗ МЕТАЛОКЕРАМІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КАРБІДУ ХРОМУ

Шіхаб Таер Абдалвахаб

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15; тел. (0342) 727177,
e-mail: zvd@nimg.edu.ua

Наведено результати експериментальних досліджень щодо отримання композиційних матеріалів для використання у парах тертя торцевих герметизаторів відцентрових насосів. Розроблено технологію отримання зносостійких матеріалів на основі карбіду хрому методом просочування попередньо сформованих пористих карбідних скелетів розплавом марганцевого мельхіору. Встановлено механічні та триботехнічні характеристики отриманих матеріалів.

Ключові слова: кермети, відцентрові насоси, торцеві герметизатори, просочування, карбід хрому, марганцевий мельхіор.

Приведены результаты экспериментальных исследований по получению композиционных материалов для использования в парах трения торцевых уплотнений центробежных насосов. Разработана технология получения износостойких материалов на основе карбида хрома методом пропитки предварительно сформированных пористых карбидных скелетов расплавом марганцевого мельхиора. Установлены механические и триботехнические характеристики полученных материалов.

Ключевые слова: керметы, центробежные насосы, торцовые герметизаторы, пропитка, карбид хрома, марганцевый мельхиор.

The experimental investigation results of manufacturing composite materials for their future use in friction couples of the centrifugal pump seal faces were obtained. The technology of producing wear resistant chromium carbide materials using impregnation of porous carbide frames with manganese cupronickel melt was developed. Mechanical and tribological properties of obtained composite materials were determined.

Key words: cermets, centrifugal pumps, mechanical seals, impregnation, chromium carbide, manganese cupronickel.

Вступ

Торцеві ущільнення широко застосовуються у нафтогазовій промисловості для герметизації валів відцентрових насосів. Надійність роботи торцевого ущільнення є однією із визначальних характеристик працездатності насоса, згідно зі за статистичними даними [1] практично 70 % ремонтних робіт з відновлення працездатності відцентрових насосів пов'язано із виходом з ладу ущільнюючих елементів з ряду причин (рис. 1) Це призводить до вимушених зупинок технологічних ліній і, як наслідок, значних економічних витрат. Крім того, витікання перекачуваного середовища зумовлене втратою герметичності ущільнюючих елементів, що призводить до забруднення навколишнього середовища та, відповідно, додаткових фінансових витрат, пов'язаних з утилізацією небезпечних речовин. У насосах провідних виробників приділяється значна увага матеріалам ущільнюючих елементів, тому їх вартість досягає 20 % вартості насоса [2].

Визначальним фактором, від якого залежить працездатність вузла торцевого ущільнення є раціональний підбір матеріалів ущільнюючих рухомих та нерухомих кілець. Основними типами матеріалів для виготовлення рухомих кілець [3] є: металеві сплави та конструкційна кераміка та вольфрамкові кермети.

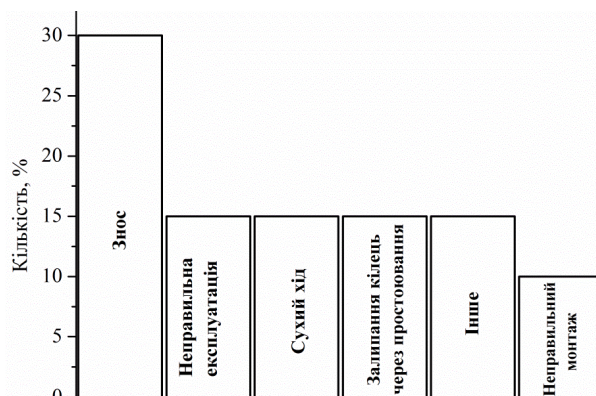
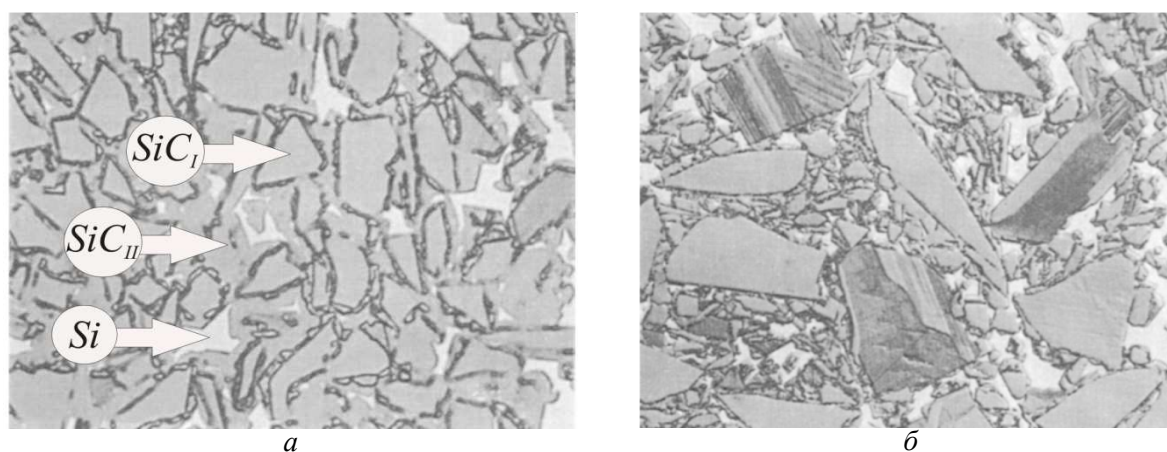


Рисунок 1 – Основні причини виходу з ладу торцевих герметизаторів

Аналіз сучасних публікацій та досліджень показує, що найбільш поширеними металевими сплавами для виготовлення кілець є:

- сірий модифікований чавун марки Meehanite [4] та чавун легований Ni, Cu та Cr марки нірезист [5];
- сплави на основі міді: алюмінієві бронзи та мідно-нікелеві сплави [6];
- корозійностійкі високохромисті сталі марок 95X18ГОСТ5632-72 [7] та AISI316;
- сплави системи Cr-W-Co (стеліти).

Суттєва перевага використання кілець торцевих ущільнень із металевих сплавів насамперед, із чавуну, бронзи та мельхіору полягає у



карбід кремнію: а – реакційноспечений; б – бімодальний [9]

Рисунок 2 – Структура карбіду кремнію



Рисунок 3 – Усадка SiC після твердофазового спікання

тому, що при зникненні рідинної плівки у зоні тертя та переходу до режиму сухого тертя не спостерігається раптового їх виходу з ладу (процес зношування є поступовим). Крім того, ущільнюючі металеві кільця характеризуються високою теплопровідністю (окрім неіржавіючої сталі та стеліту) та високою міцністю. При цьому їх вартість є порівняно низькою. Основним їх недоліком є низька стійкість у середовищах, які містять абразивні частинки.

Керамічні кільця, виготовлені із матеріалів на основі карбіду кремнію (SiC) та оксиду алюмінію (Al_2O_3) торцевих ущільнень, на даний час є найбільш розповсюдженими через їх високу зносостійкість та хімічну інертність у багатьох агресивних середовищах. Кільця із матеріалів на основі карбіду кремнію є найбільш універсальними, з огляду на їх високу зносостійкість в умовах одночасно абразивного зношування та дії хімічно активних речовин (кислот, лугів і т.п.). Реакційноспечений SiC отримують шляхом просочування кремнієм сформованої заготовки із суміші графіту та SiC, у результаті чого внаслідок проходження хімічної реакції формується додатковий (вторинний) SiC, який зв'яже зерна первинного SiC у безперервний каркас [8]. При цьому, процес реакційного спікання характеризується незначною усадкою

(< 1 %). Структура отриманого матеріалу характеризується наявністю у міжзерновому просторі вільного кремнію у кількості 8–12% (рис. 2, а). Наявність вільного кремнію суттєво впливає на хімічні властивості матеріалу, оскільки при проходженні реакції вільного кремнію із середовищем, яке перекачується, утворюються наскрізні канали, заповнені продуктами реакції, і пара тертя виходить з ладу. Для збільшення вмісту карбідної фази та, відповідно, зменшення частки вільного кремнію у склад вихідної шихти вводять частинки SiC, які суттєво відрізняються за розмірами (рис. 2, б).

SiC, спечений у твердій фазі, отримують спіканням за температур 2000–2100 °С заготовок, сформованих із субмікронних порошоків з високою надлишковою поверхневою енергією та питомою поверхнею ~ 45 м²/г, що дає можливість отримати усадку при спіканні до 23 % (рис. 3) [10]. Для прискорення процесу усадки часто використовують активуючі добавки вуглецю, бору та алюмінію у кількості ~ 1 мас. %.

Силіційований графіт отримують методом реакційного просочування пористих графітових заготовок кремнієм у захисній атмосфері за температур ~ 2000 °С. Структура отриманого матеріалу є неперервним каркасом із SiC, який містить включення вуглецю та графіту. Така

структура (рис. 4) забезпечує одночасно високі антифрикційні властивості та високу теплопровідність. Для виготовлення кілець торцевих ущільнень застосовують силіційовані графіти марок СГ-Т (отримані просочуванням кремнієм графіту марки ПГ-50), СГ-П (отримані просочуванням кремнієм графітової стружки, подрібнених графітових відходів попередньо пластифікованих та сформованих з використанням зв'язки із пудрбакеліту).

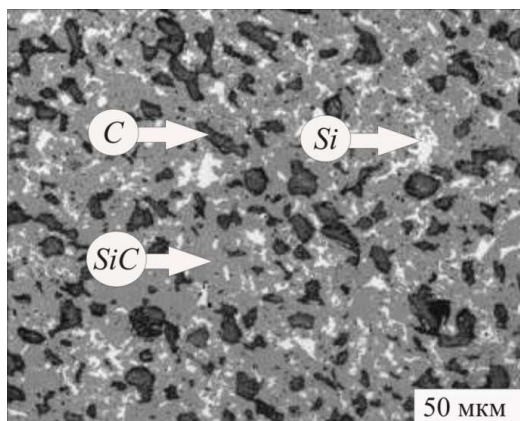


Рисунок 4 – Структура силіційованого графіту [11]

Просочуванням графіту сплавами системи Si-B отримують боросиліційовані графіти (марка БСГ-60), які порівняно із силіційованим графітом характеризуються низькою залишковою пористістю, високою міцністю під час стискання та твердістю, а також хорошою хімічною стійкістю (зокрема у розчинах сірчаної, азотної, соляної та фосфорної кислот). Найбільш універсальною маркою силіційованих карбідів, є матеріал, легований додатково оксидом алюмінію (марка ГАКК 55/40), який характеризується високою хімічною стійкістю у ряді агресивних кислотних середовищ [12]. Для підвищення експлуатаційних характеристик силіційованих графітів (зокрема тріщиностійкості) формування заготовок проводиться вакуумним пресуванням [13]. Спільним недоліком силіційованих графітів є висока крихкість, низька припрацьовуваність, що ускладнює їх кріплення в металевих обоймах.

Кільця із матеріалів на основі оксиду алюмінію отримують формуванням заготовок заданої форми шляхом пресування або лиття під тиском пластифікованої маси із порошків глинозему (Al_2O_3), чистотою 94 – 99% та подальшого спікання на повітрі, яке супроводжується значною усадкою (рис. 5). Отримані у такий спосіб кільця характеризуються високою твердістю та виключно високою хімічною стійкістю у середовищі переважної більшості кислот, лугів та вуглеводнів (до 1800 °С) [14], що дозволяє використовувати їх у насосах для нафтохімічної промисловості. Однак, основним фактором, що стримує їх широке застосування, є низька стійкість проти термічних ударів, що виникають при переході у режим сухого тертя [15].

Нітрид кремнію (Si_3N_4), отриманий методом гарячого пресування або високотемпературного газостатичного ущільнення [16], застосовують, зазвичай для кілець торцевих ущільнень спеціального призначення, до яких висуваються високі вимоги щодо тріщиностійкості та міцності при високих швидкостях ковзання та температурах. Для кілець із матеріалів на основі Si_3N_4 , які працюють в особливо важких умовах, автори роботи [17] пропонують наносити на робочі поверхні алмазоподібні DLC (diamond like coatings) – покриття, які забезпечують високу зносостійкість завдяки низькому коефіцієнту тертя $\sim 0,001$ (у середовищі води), що викликано проходженням процесів самозмашування у зоні фрикційного контакту.

Кермети та металокерамічні композити

Найбільш розповсюдженими керметами для виготовлення ущільнюючих кілець починаючи із 1960-х років є вольфрамові тверді сплави систем WC-Co та WC-Ni, отримані рідкофазовим спіканням, кількість металеві зв'язки у яких становить 6-15 мас. %. Їх використання як триботехнічних матеріалів зумовлене високим модулем пружності карбідної фази, твердістю та міцністю під час згинання та стискання (найвищою серед усіх відомих керметів), високою теплопровідністю (залежно від вмісту металевого компоненту). Вольфрамові тверді сплави раціонально застосовувати у парах, де присутні значні питомі навантаження та допускається присутність абразивних частинок.

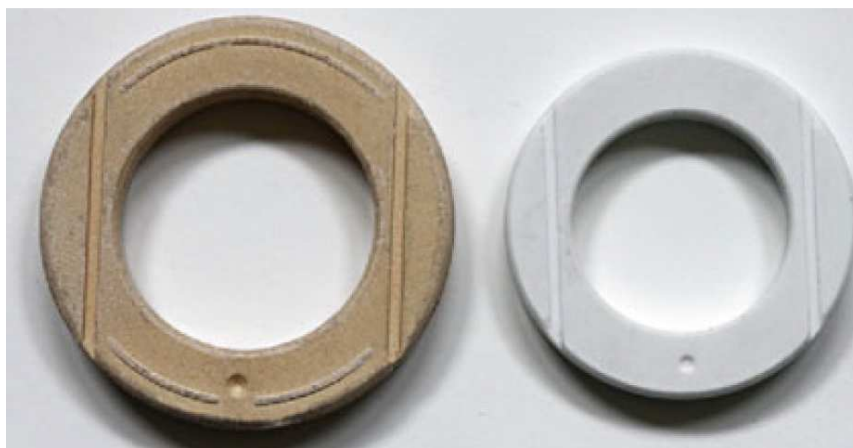


Рисунок 5 – Характер усадки Al_2O_3 після твердофазового спікання

Загальна проблема пошуку аналогів до вольфрамів твердих сплавів залишається у даний час не вирішеною, оскільки, не зважаючи на свою універсальність, ущільнюючі кільця із вольфрамів твердих сплавів системи WC-Co мають ряд недоліків, зумовлених низькою хімічною стійкістю кобальту, який розчиняється навіть у хімічно чистій воді [18], високою густиною матеріалу, що ускладнює його експлуатацію у високошвидкісних парах тертя, а також високою вартістю, яка протягом останніх років динамічно зростає (рис. 6), тому більш раціональним є використання композитів на основі керамічних матеріалів зі зв'язками на основі корозійностійких сплавів. Представниками дисперсійно-твердіючих сплавів на мідній основі є, зокрема, сплави системи Cu-Ni-Mn. За даними [19] найбільш висока здатність до зміцнення при термообробці спостерігається для сплавів із масовим вмістом Cu – 60 мас. % (решта Ni та Mn в однакових пропорціях), крім того наведеним сплавам характерна висока корозійна стійкість.

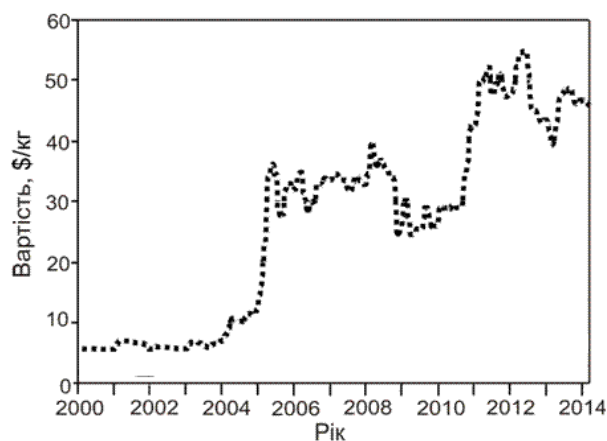


Рисунок 6 – Динаміка росту світових цін на вольфрам

Однак, сумісність сплавів вказаної системи із тугоплавкими карбідами IV-VI групи періодичної системи елементів є на даний час практично не вивченою, що унеможливило розробку композитів, де марганцеві мельхіори виконують роль матричної фази.

Мета роботи. Встановлення характеру формування структурних параметрів та її вплив на механічні властивості та розробка технології отримання кілець торцевих герметизаторів відцентрових насосів методом порошкової металургії та способом просочування пористих карбідних каркасів.

Матеріали і методика досліджень. Серед методів порошкової металургії, якими, як правило, отримують і металокерамічні матеріали триботехнічного призначення зі зв'язкою на основі марганцевих мельхіорів, найбільш раціонально застосовувати метод просочування попередньо сформованого пористого каркасу розплавом, з огляду на його переваги над традиційними методами, а саме :

- можливістю виготовлення виробів складної конфігурації;
- відсутністю усадки, що суттєво спрощує технологію виготовлення виробів;
- можливістю використання як металеві складові сплавів, порошки яких не виготовляються серійно. При цьому металеві компоненти можуть бути застосовані у вигляді відходів, шламу, стружки і т.п., що суттєво підвищує рентабельність методу;
- простотою технології, яка забезпечується відсутністю трудомістких операцій зі змішування та розмелювання вихідних компонентів, і використанні стандартного пічного та пресового обладнання;
- низькою тривалістю процесу, яка при правильному підборі компонентів забезпечує максимально повне збереження їх хімічного складу, та, відповідно, і властивостей.
- низьким впливом шкідливих домішок (насамперед, оксидних фаз), які у процесі проходження фронту розплаву через пористе тіло переносяться на поверхню виробів та у подальшому легко видаляються механічною обробкою.

Вибір карбідної фази для керметів триботехнічного призначення зі зв'язкою на основі марганцевого мельхіору проводився із урахуванням таких їх основних характеристик:

- високого рівня твердості та модуля пружності;
- високої корозійної стійкості та хімічної стабільності;
- високої теплопровідності;
- змочуваності сплавом-зв'язкою;
- низької вартості.

Порівняльний аналіз карбідів, перспективних для використання як карбідної фази керметів для кілець торцевих ущільнень за змочуваністю міддю і значеннями їх мікротвердості та теплопровідності (рис. 7), показує, що найбільш вдалим поєднанням наведених характеристик характеризується карбід ванадію VC.

Однак, порівняльний аналіз відносної вартості металевих компонентів (із урахуванням їх питомої маси) наведених карбідних фаз (рис. 8) показує, що для V вона є вищою практично у 3,5 рази, ніж для Cr. Хоча відносна вартість Ti є нижчою, ніж Cr практично у два рази карбіди титану не змочуються міддю, що практично унеможливило отримання матеріалів у системі TiC – марганцевий мельхіор.

Таким чином, виходячи із порівняльного аналізу властивостей карбідних фаз, а також економічних міркувань, отримання керметів для виготовлення кілець торцевих герметизаторів проводилось на основі системи: Cr₃C₂ – Cu-Ni-Mn. Як вихідні карбідні компоненти для досліджень використовували порошки Cr₃C₂ за ТУ 14-22-28-90 та ТУ 6-09-03-10-75 із середнім розміром частинок від 6 до 120 мкм.

Зразки для досліджень отримували методом порошкової металургії у такий спосіб: порошки Cr₃C₂ різних фракцій змішували у гравітаційному барабанному змішувачі із пластифікатором (5 %-ний розчин каучуку СКІ-3 ГОСТ 14925-79 у бензині БР-1 (ГОСТ 443-76) протягом

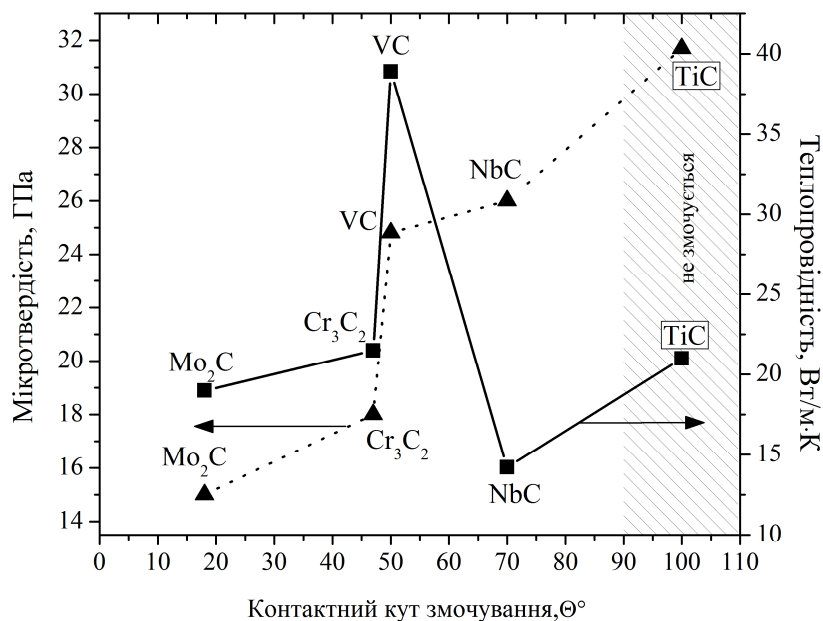


Рисунок 7 – Порівняльна характеристика змочуваності міддю, мікротвердості (▲) та теплопровідності (■) деяких тугоплавких карбідів IV – VI групи періодичної системи елементів

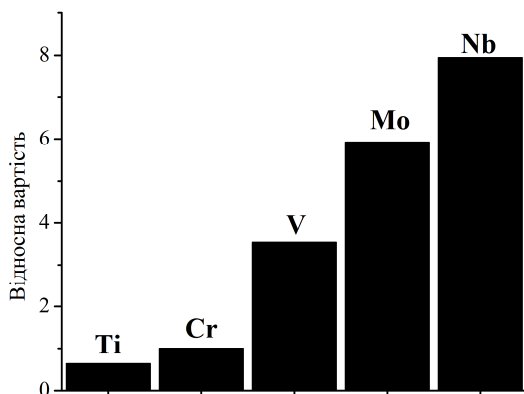


Рисунок 8 – Відносна вартість металевих компонентів карбідних фаз, перспективних для застосування як матеріал для кілець торцевих герметизаторів

12 год. Кількість пластифікатора становила 30% від об'єму порошку. Після сушіння отриманої суміші проводилась її грануляція шляхом перетирання через сито із розміром комірки 1 мм. Отримані гранули пресували у заготовку необхідної форми методом одно- та двостороннього холодного пресування у сталевій пресформі за тиску 300-500 МПа. Сформовані таким чином заготовки із відкритою пористістю 20-40 % поміщались в алундові тиглі із наважками сплаву МНМЦ (із розрахунку на заповнення 100 % пор). Далі проводилось нагрівання заготовок у вакуумній печі СШВ-1,25/25-И1 до температури 1100 °С. При цьому проходить плавлення сплаву та заповнення ним пор керамічного каркасу. Після охолодження до кімнатної температури зразки повторно нагрівали для забезпечення проходження процесів старіння. Для отриманих матеріалів проводилось визначення твердості за Віккерсом та коефіцієнта тертя за схемою диск-колодка.

Основний матеріал. Структура отриманого матеріалу представляє собою зерна карбідних фаз, які достатньо рівномірно розподілені у металевій матричній фазі (рис. 9), об'ємна концентрація частинок твердої фази становить ~ 60 об. %. Така структура відноситься до матрично-армованого типу та відповідає правилу Шарпі, що, у свою чергу, передбачає високий рівень зносостійкості в умовах тертя ковзання.

Важливим технологічним параметром, який визначає структуру, та відповідно експлуатаційні параметри металокерамічних матеріалів, отриманих просочуванням, є тривалість контакту розплаву із карбідною фазою. Як видно із мікроструктур отриманих матеріалів (рис. 10), збільшення тривалості контакту від 15 до 45 хв. призводить до переходу структури із матрично-армованого типу у каркасний. Причинами цього є посилення дифузійних процесів, які є причинами коагуляції карбідних частинок, росту зерна та зменшення прошарків металеві фази. Такий характер зміни структури не є сприятливим з позиції забезпечення поєднання твердості та теплопровідності, оскільки ділянки пластичної та теплопровідної металеві фази стають ізольованими.

Особливістю розробленого матеріалу є властивість до зміцнення шляхом гартування з наступним старінням. Для дослідження цього процесу зразки нагрівали до температури 600 °С, при якій витримували протягом 0,5 год. Далі їх охолоджували у воді, після цього витримувались при температурі 450 °С в діапазоні часу від 0 до 16 год. Відтак проводилось вимірювання твердості методом Вікерса характер зміни твердості залежно від тривалості старіння наведено на (рис. 11). Як видно з рисунку, початкова твердість зразків, витриманих у контакті із розплавом при 45 хв., перевищує твердість зразків, витриманих при 15 хв. Однак, при ізотермічному витриманні у процесі старіння

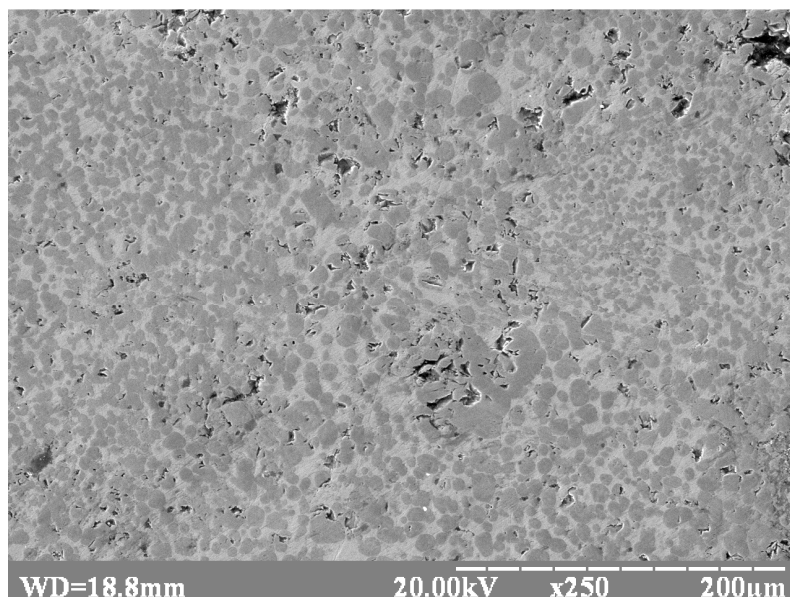
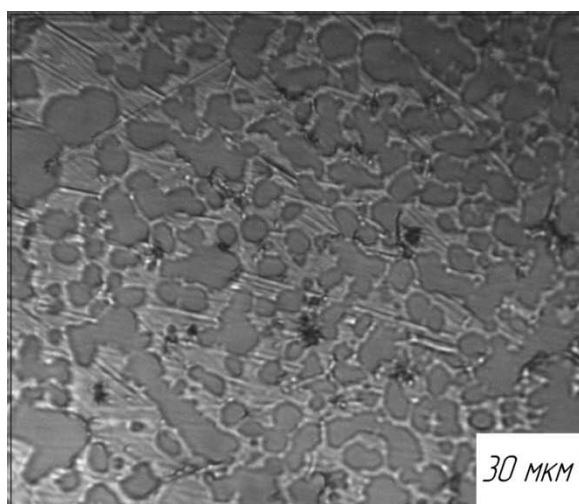
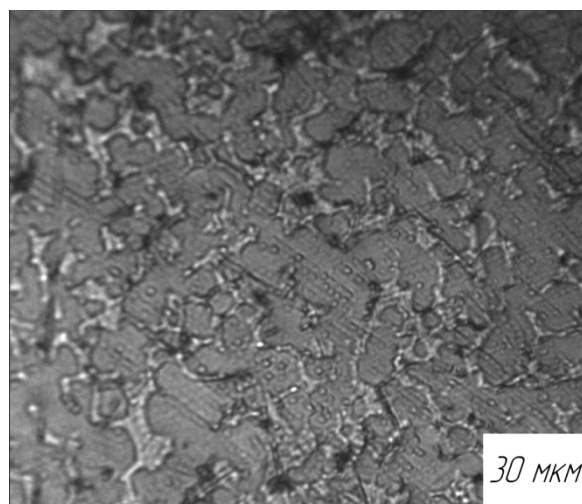


Рисунок 9 – Мікроструктура матеріалу Cr_3C_2 -марганцевий мельхіор



а)



б)

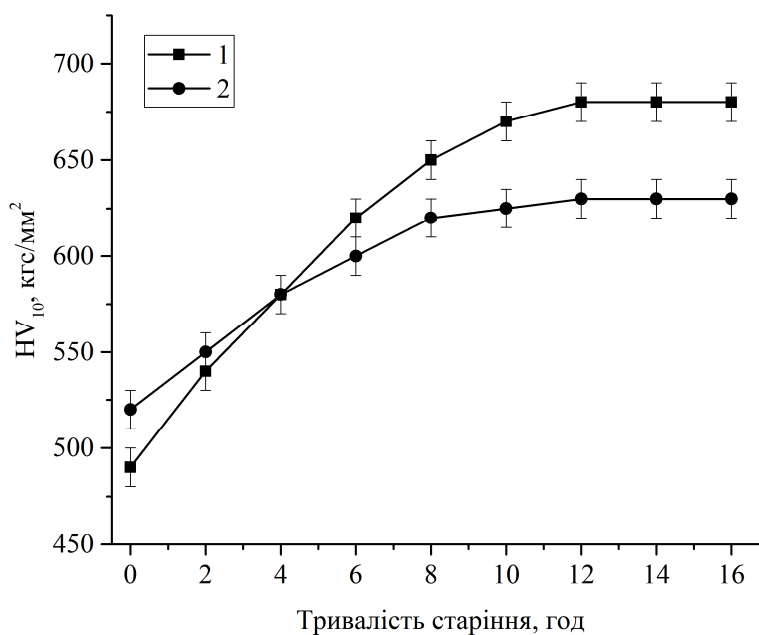
а) 15 хв; б) 45 хв

Рисунок 10 – Еволюція мікроструктури композиційного матеріалу залежно від тривалості витримки при просочуванні

зростання твердості зразка, який витримувався у контакті із розплавом протягом 15 хв., проходить більш динамічно. Таким чином, його твердість після 10 год термообробки досягає рівня $\sim 680 \text{ кгс/мм}^2$, що перевищує твердість зразка, витриманого у контакті із розплавом протягом 45 хв. і підданого аналогічній термічній обробці, на $\sim 50 \text{ кгс/мм}^2$. Отже, при виготовленні композитів для забезпечення високих експлуатаційних характеристик тривалість отримання повинна бути якомога меншою.

Результати триботехнічних випробовувань розроблених композитів в умовах тертя ковзання без змащування (рис. 12) показують, що у процесі тертя зі збільшенням тривалості випробувань до 1 год коефіцієнт тертя лінійно знижується практично у 3 рази. Отже, розроблені композити характеризуються високою здатністю до припрацювання. Вказана характерис-

тика особливо важлива для роботи торцевих герметизаторів, особливо під час запуску та зупинки насосних агрегатів, оскільки при цьому виникають різкі стрибки температури, які можуть призвести до терморозтріскування матеріалів кілець. Особливо яскраво це проявляється при використанні кілець із кераміки на основі оксиду алюмінію та карбідів кремнію. Таким чином, розроблені композити можуть бути запропоновані, як замітники керамічних матеріалів в умовах роботи, де існує ризик виникнення сухого тертя. Низька температура отримання керметів Cr_3C_2 -марганцевий мельхіор дозволяє не лише використовувати їх у вигляді монолітних матеріалів, а також наносити покриття на їх основі методом пічного наплавлення на сталеві заготовки. Це дозволяє суттєво економити матеріали та спрощує технологію отримання виробів.



1 – тривалість просочування 15 хв.; 2 – тривалість просочування 45 хв.

Рисунок 11 – Залежність твердості композитів від тривалості старіння

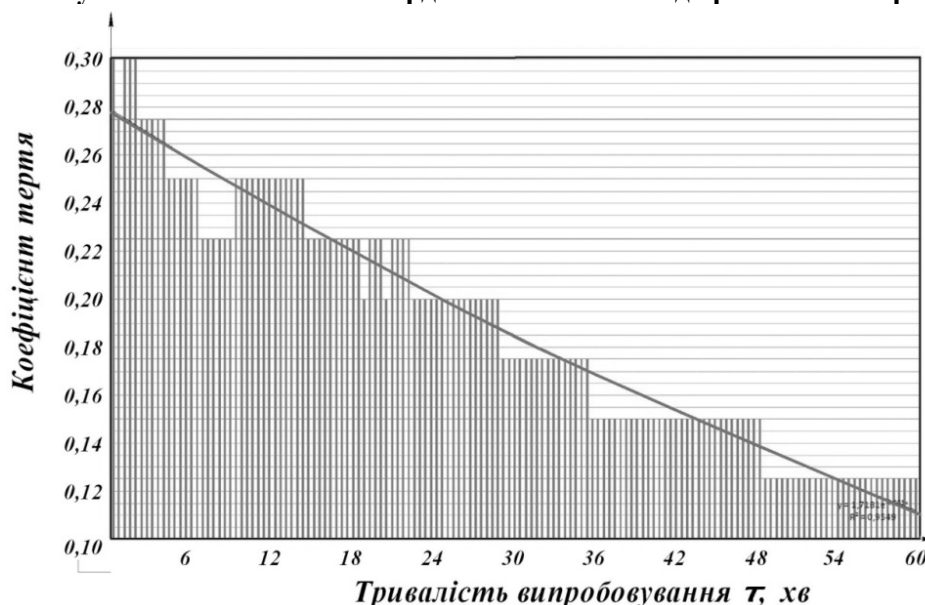


Рисунок 11 – Залежність коефіцієнта тертя від тривалості випробовування в парі композитів Cr₃C₂ – МНМц 60-20-20 за тиску 0,64 МПа

Враховуючи проведені дослідження, технологія промислового виготовлення кілець торцевих повинна складатись із таких основних операцій:

Сушіння. Проводиться для видалення вологи із порошку карбіду перед розмелом у сушильній шафі з регулюванням температури до 200 °С. Час витримування – 6 год.

Розмелювання. Проводиться у вібраційному млині, що дає змогу досягти дисперсності порошку 1...10 мкм. У вібраційний млин завантажуються розмольні тіла разом з матеріалом, що подрібнюється. Заповнення барабану розмельними тілами складає 75-80 %, об'єм порошку карбіду хрому не повинен перевищувати об'єм простору між кулями.

Гранулометрія. Ця операція призначена для визначення гранулометричного складу порошку з використанням класифікаційних сит з різними розмірами комірок. Порошок просіюється через сита різних номерів. Порошок, який пройшов через усі сита, надходить на операцію дозування.

Дозування. На даній операції необхідно провести зважування порошку карбіду хрому на вагах задля можливості проведення наступних етапів процесу, а також зважування необхідної кількості мельхіору МНМц 60-20-20, який використовуватиметься при просочуванні.

Змішування. Змішувач складається з ємності, закріпленої під нахилом, приводиться в дію електроприводом. Для приготування сумі-

ші, порошок карбїду хрому засипається і перемішується з пластифікатором (5 % розчином каучуку у бензині).

Пресування. Замішану суміш, попередньо просушену на повітрі, просіюють через сито. Форму для пресування збирають та очищують від залишків попереднього пресування. Замішану суміш щільно укладають у зібрану форму, додатково ущільнюють і закривають кришкою. Зібрану і ущільнену форму встановлюють у прес. Пресування проводять під тиском 0,3-0,5 т/см². Після зняття із пресу форму відразу розбирають та виштовхують з неї пресовку. Для покращення якості пресовку необхідно витримувати деякий час під навантаженням. Після візуального огляду спресованого матеріалу на наявність тріщин пресовка передається на наступний етап технологічного процесу.

Відгонка пластифікатора та спікання. Пресовка поміщається у піч типу СШВЛ, після чого вона герметизується та створюється вакуум. Для відгонки легких фракцій пластифікатора (бензин) пресовку нагрівають до температури 400 °С впродовж 1 години, після чого різко збільшують температуру до 1000 °С для відгонки важких фракцій пластифікатора (каучук). Потім відбувається спікання за температури 1150 °С, що триває 45 хвилин. Після спікання проводиться візуальний огляд наявності тріщин та визначення усадки.

Просочування. Спечений каркас карбїду хрому поміщається в алуновий тигель, на дні якого засипано порошок діоксиду цирконію. Брикет МНМц 60-20-20 встановлюється на каркас Cr₃C₂. Тигель поміщається у піч, піч герметизується та створюється вакуум. Процес проходить за температури 1150 °С протягом 15 хв. Просочений каркас охолоджується у печі зі швидкістю охолодження 25 °С/хв.

Термообробка. Виріб після спікання та просочування піддається гартуванню. Гартування проводиться витримуванням за температури 600 °С впродовж 1 год, з наступним охолодженням у воді. Після чого виріб піддається старінню за температури 400 °С протягом 16 годин.

Шліфування. На даній операції шліфують начисто внутрішню поверхню. Швидкість обертання 18 м/с, глибина шліфування 0.01–0.02 мм, повздовжня подача – 0.3–0.4 мм на хід.

Полірування. Неплощинність ущільнюючих поверхонь кілець не повинна перевищувати 0,6-0,9 мкм при Ra=0.6 мкм. Для чистової обробки робочих поверхонь використовують доведення. Цей процес зводиться до згладжування нерівностей поверхонь з допомогою абразивних порошоків за наявності змащувальних речовин. Змащувальна речовина утворює між поверхнями притирання і плитою шар, насичений абразивним матеріалом. Товщина шару не повинна перевищувати розмір абразиву, тому для доведення застосовують нев'язкі рідини, такі як вода і гас. Вибір матеріалу абразиву необхідно здійснювати, враховуючи твердість елемента притирання: $H_a/H_m=1,3...1,7$, де H_a – твердість абразиву, H_m – твердість матеріалу. Викінчува-

льну обробку з метою одержання необхідної шорсткості поверхні слід виконувати дрібнозернистим порошком при поступовому зменшенні величини зерен абразиву у міру покращення якості поверхні деталі, що обробляється. Контактний тиск на поверхню повинен бути 0,03-0,06 МПа для попереднього притирання і 0,01-0,03 МПа для викінчуваної обробки. Швидкість переміщення деталі 0,1-0,5 м/с, підвищення швидкості і контактного тиску небажане через нагрівання деталі і можливість її деформації.

Висновки

Вперше встановлено, що при просочуванні марганцевим мельхіром попередньо сформованих пористих каркасів, виготовлених із карбїду хрому, розплавом марганцевого мельхіору формується виражена гетерофазова структура із вмістом карбїдної складової ~ 60 об. %. Розроблені кермети характеризуються високою здатністю до зміцнення під час старіння за рахунок виділення інтерметалїдних фаз. Показано, що збільшення тривалості процесу просочування призводить до суттєвого збільшення розмірів карбїдних зерен за рахунок їх коагуляції. При цьому матеріали частково втрачають здатність до зміцнення.

Розроблено промислову технологію виготовлення кілець торцевих ущільнень відцентрових насосів.

У подальших дослідженнях перспективним є пошук інших карбїдних фаз для виготовлення пористих каркасів та (або) їх поєднання для отримання керметів, які в умовах механічних та фрикційних навантажень поєднують механізми дисперсного та дисперсійного зміцнення.

Література

- 1 ООО "Гидромаш Инжиниринг" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gme.in.ua/torcevye-uplotnenija-prichiny-vyhoda-so-stroja-v-nasosah> – Назва титул. з екрану. – Мова. рос.
- 2 Преимущества торцевого уплотнения [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.sealtd.com.ua/tor/advantage.html> – Назва титул. з екрану. – Мова. рос.
- 3 Müller, H.K. Fluid Sealing Technology: Principles and Applications / Müller, H.K. Nau, B.S. – New York: Marcel Dekker, Inc., 1998. – 485 p.
- 4 Meehanite Worldwide Specification Handbook [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.meehanite.com/Meehanite_Worldwide_Specification_Handbook_ver09.07.2013.pdf – Назва з титул. екрану. – Мова. рос.
- 5 Криль Я.А. Матеріалознавство. Глуначний словник: Т.1 / Я.А. Криль, О.Р. Флюнт, Г.В. Криль – Львів: Новий світ – 2000, 2012. – 476 с.
- 6 Lai T. Improved performance seals for pipeline applications / T. Lai, R. Gabriel, L. Mayer-Yep // Lubrication Engineering. – 2003 – vol.59, №4. – pp. 18 – 29.

- 7 ОСТ 26-06-1426-87: Уплотнения валов насосов. Классификация и условные обозначения.
- 8 Гнесин Г.Г. Бескислородные керамические материалы / Г.Г. Гнесин. – К.: Техніка, 1987. – 152 с.
- 9 Q. Jane Wang Encyclopedia of tribology / Q. Jane Wang, Yip-Wah Chung – New York: Springer-Verlag, 2013. – 4139 p.
- 10 Неметаллические тугоплавкие соединения / [Косолапова Т.Я., Андреева Т.В., Бартницкая Т.С., Гнесин Г.Г. и др.] – М.: Металлургия, 1985. – 224 с.
- 11 Разработка мелкозернистого силицированного графита с улучшенными свойствами / О.Ю. Сорокин, И.А. Бубненко, Ю.И. Кошелев [та ін.] // Химия и химическая технология. – 2012. – Т.55, № 6. – С. 12–16.
- 12 Материалы уплотняющих колец торцового уплотнения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.sealtd.com.ua/tor/ring_matirial.html – Назва з титул. екрану. – Мова. рос.
- 13 Гнилиця І.Д. Дослідження впливу технологічних параметрів процесу одержання силіційованих графітів для виготовлення кілець торцевих ущільнень відцентрових насосів на їх експлуатаційні властивості / І.Д.Гнилиця, Я.А.Крыль, І.В.Цап // Проблеми трибології. – 2011. – №3. – С.39–43.
- 14 Физико-химические свойства окислов / [Борисова А.Л., Жидкова Т.Г., Знатокова Т.Н. и др.]; под. ред. Г.В. Самсонова. [2-е изд.]. – М.: Металлургия, 1978. – 472 с.
- 15 Flitney R.K. Seals and Sealing Handbook, Sixth Edition / R.K. Flitney – Butterworth-Heinemann, 2014. – 648 p.
- 16 Крыль Я.А. Высокотемпературное газостатическое уплотнение нитрида кремния / Я. А. Крыль. – К.: Наукова думка, 1993. – 141 с.
- 17 Vila M. Ultra-high performance of DLC-coated Si₃N₄ rings for mechanical seals / M. Vila, J.M. Carrapichano, J.R. Gomes [at el.] // Wear-2008. – vol. 256, № 5-6. – pp. 940-944.
- 18 Э. Майер Торцовые уплотнения (пер. с нем.) / Майер Э. – М.: Машиностроение, 1978. – 288 с.
- 19 Xie W. B. Microstructure evolution and properties of Cu–20Ni–20Mn alloy during aging process / W. B. Xie, Q. S. Wang, X. J. Mi, G. L. Xie, D. M. Liu, X. C. Gao, L. I. Yang // Transactions of Nonferrous Metals Society of China –2015. – Vol. 29, №10. – pp. 3247–3251.

Стаття надійшла до редакційної колегії

15.04.16

Рекомендована до друку професором Грудзом В.Я.

(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)

канд. техн. наук Пилипченко О.В.

(ТзОВ МНВЦ «Епсілон ЛТД»,

м. Івано-Франківськ)