

Случак О. І.,
аспірант, Чорноморський національний університет
ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна
Шугай В. В.,
аспірант, Чорноморський національний університет
ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна
Прищепов О. Ф.,
канд. техн. наук, доцент, Чорноморський національний
університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна
Андрєєв В. І.,
канд. техн. наук, доцент, Чорноморський національний
університет ім. Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

МЕТОДИКИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ З ЗАДАНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ КОКІЛІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ

Жаростійкість композитних матеріалів – показник, що характеризує резистентність комбінованої структури матеріалу до теплової деформації під впливом екстремальних термічних навантажень. Розробка методів структуроутворення композитних матеріалів з властивостями, що відповідають умовам експлуатації є одним з найбільш актуальних напрямків конструкторської та наукової роботи в галузі матеріалознавства. Основною проблемою експлуатації жаростійких матеріалів є деяка непередбачуваність, з якою здійснюють свій вплив основні чинники, що викликають зношування циліндричних металевих деталей в умовах агресивного кінетичного, теплового та хімічного впливу робочого середовища. Відповідно основні цілі даного дослідження включають як вивчення основних факторів, що впливають на знос деталей, розрахованих на підвищені навантаження так і огляд основних технологічних рішень, направлених на підвищення зносостійкості таких деталей шляхом формування поверхневих композитних структур. Враховуючи це, було розроблено перспективний метод структуроутворення матричних композицій, на основі якого, було сформовано ряд технологій виробництва композитів з пониженою теплопровідністю для роботи в умовах підвищених термічних навантажень.

Ключові слова: металокераміка; композити на титановій губці з наповнювачем; керамічна матриця; пресування.

Постановка проблеми. Зносостійкі вироби для експлуатації в умовах інтенсивних термічних навантажень є одним з факторів розвитку сучасних технологій. На думку спеціалістів, з зростанням доступних в виробництві техніки температур та тиску розширювались і можливості готових матеріалів. І дійсно управління процесами формування конструкційних матеріалів базується на трьох факторах: контроль мікроструктури та чистоти конструкційних матеріалів, методи обробки та контролю процесів формування заготовок, а також конфігурація готових деталей. Простіше кажучи: матеріал, технологія обробки, форма деталі.

Часто до конструкційних матеріалів пред'являють мало сумісні між собою вимоги не доступні однорідним структурам на зразок сплавів. В таких випадках більш доцільним є застосування складних композитних структур. До композиційних відносять складні структури що містять кілька не розчинних або мало розчинних одне в одному компонентів з чітким розділенням між ними. Одним з компонентів композиту завжди є матриця, що об'єднує компоненти та надає форми готовій структурі. В більшості матеріалів також наявні пружно-пластична основа та армуючий

наповнювач, рівномірно розподілений в матриці та орієнтований по зоні деформації.

Основними вимогами до зносостійких композитів є:

- Наявність гетерогенної структури в якій в межах пружно-пластичної матриці, здатної до релаксації втомних навантажень матеріалу, розподілено тверді частки, що приймають на себе критичні навантаження в вузлових точках деформації.

- Здатність поверхневої структури зберігати однорідність або перебудовуватись в аналогічну найбільш вигідну з точки зору діючого навантаження конфігурацію при поверхневому зношуванні.

- Менша міцність поверхневою структури в порівнянні з основою відповідно до правила позитивного градієнту.

- Висока міцність адгезійного зв'язку в композиті для захисту від викришування.

Вказані характеристики стосуються не тільки поверхневих фрикційних навантажень в процесі тертя, а і термічних навантажень на структуру матеріалу і навіть кавітаційну дію потоку гарячих газів чи рідин.

Одним з найбільш актуальних питань матеріально-го ресурсо-ємного виробництва є виробництва засобів

виробництва. Як приклад виготовлення поршневих кілець відбувається шляхом індивідуального відливання у піщано-глинясті форми. Даний спосіб має наступні недоліки: великі початкові витрати на створення піщано-глинястої форми, високий відсоток браку внаслідок обсипання формувальної суміші, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху. Як видно, з вище сказаного, проблеми виникають саме на стадії формування ливарної форми, що має надто крихку структуру не здатну утримувати форму під впливом механічних навантажень.

Альтернативою використанню дешевих, але менш якісних форм є довговічні і міцні кокілі відцентрового лиття, але їх застосування хоча і передбачає підвищення продуктивності праці в 1,5–6 разів, пов'язано з використанням більш дорогих матеріалів, а тому вимагає здешевлення за рахунок підвищення строків експлуатації кокілів. Застосування композитних вставок на основі дешевих матеріалів, схожих з тими, що застосовуються в піщано-глинистих формах, дозволить органічно поєднати переваги обох методів. Саме поєднання основних переваг наповнювачів з взаємною компенсацією недоліків є основною перевагою композитів в порівнянні з іншими матеріалами.

Перспективними, з точки зору теоретичної науки, є можливості по підбору складних композитних матеріалів з різними властивостями та теоретичне обґрунтування методів комбінування наповнювачів для керамічних та металокерамічних композитів.

Таким чином, об'єктом даного дослідження є зносостійкі та жаростійкі композитні матеріали.

Предметом дослідження є процес формування композитів для кокілів відцентрового лиття.

Основними напрямками досліджень є:

- Визначення чинників, що викликають зношення кокілів.
- Визначення чинників, що погіршують якість заготовок.
- Розробка на основі попередніх досліджень концепції формування жаростійких композитів для кокілів відцентрового лиття.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є вивчення основних факторів, що впливають на знос деталей, розрахованих на підвищені навантаження та огляд основних технологічних рішень, направлених на підвищення зносостійкості таких деталей.

Постановка завдання. Для охоплення найбільш перспективних напрямків технологічного вдосконалення поверхневих структур кокілів було визначено ряд завдань:

- Розглянути основні фактори, що впливають на матеріал поверхні кокілів та пористих вставок та визначити залежність зносостійкості від дії цих чинників як елементу умов експлуатації.
- Охарактеризувати вплив структури матеріалу та геометрії поверхні на її зносостійкість та навести основні параметри впливу механічних властивостей конструкційного матеріалу на процес зношування кокілю в умовах високих температур.
- Описати конструктивні та технологічні методи підвищення надійності та довговічності поверхонь кокілів та вставок із циклічними термічними навантаженнями.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Розглядаючи сфери використання таких зносостійких матеріалів, складно пропустити металургію як одну з сфер, в якій термічні навантаження грають основну роль. Як приклад характерною проблемою у випадку відцентрового лиття циліндричних заготовок в кокілю є нерівномірне зношування кокілю в зонах контакту відливки з матеріалом кокілю, що вимагає покриття даних зон теплоізолюючими матеріалами. Ігнорування даного аспекту або використання в якості тепло ізолятора моно матеріалів на зразок титану може частково нівелювати частину переваг від застосування кокілів.

Такі переваги, як довговічність форми та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище можуть бути нівельовані швидким зносом кокілю і як наслідок утворенням відходів у випадку не застосування ізолятора. Підвищення точності вилівки, зменшення шорсткості поверхні, зменшення припусків на обробку та збільшення щільності відливок можуть бути нівельовані пружною деформацією металічних вставок, що вимагає застосування більш дорогих жаростійких металів та сплавів. Використання ж керамічних та складних композитних вставок хоча і не передбачає повне виключення робіт з формувальними сумішами, але на відміну від лиття у піщані форми не вимагає даного етапу в кожній відливці, а є частиною процесу виробництва вставок з більш дешевих матеріалів ніж жаростійкі сплави.

Основними проблемами, що можуть проявитись в даному випадку є:

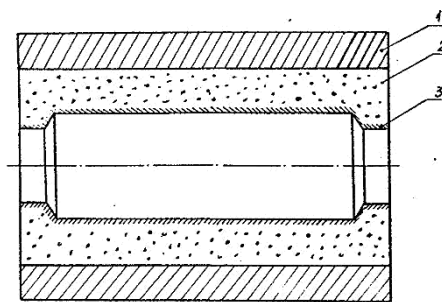
- Неоднорідність структури металу по площі вилівки;
- Можливість утворення поверхневого відбілу чавуну;
- Необхідність регулярного покриття кокілів теплоізоляційними матеріалами.

При зіткненні розплаву чавуну з поверхнею металевого кокілю різниця температур між розплавом і поверхнею досягає величини порядку 1000 °С. В результаті цього кристалізація відбувається з високою швидкістю, наслідком чого є поява в структурі міждендритного графіту, що знижує антифрикційні характеристики чавуну. Швидкість охолодження все ще залишається високою і після кристалізації вилівки. Тому наступні структурні перетворення відбуваються в метастабільних станів з появою в структурі чавуну цементиту, що займає більшу частину площі шліфа. На зовнішній поверхні вилівки, що стикається з кокілем, мікроструктура може складатися повністю з цементиту. В результаті глибокого переохолодження рідкої фази в зовнішньому шарі заготовки утворюється структура білого або половинчастого чавуну. Далі розташовується зона зі структурою, характерною для переохолодження графітної евтектики, пронизана в разі заливки чавуну до евтектичний складу тонкими, сильно розгалуженими дендритами первинного аустеніту. Тільки над цією зоною кристалізація чавуну протікає без значного переохолодження, що призводить до виникнення звичайних для сірого чавуну структурних складових. Після вилучення заготовки з металевого кокілю різко сповільнюється тепловідвід від її поверхні. В результаті теплопередачі від внут-

рішніх обсягів металу до зовнішніх раніше утворилася цементитна фаза розпадається, тобто відбувається самовипал заготовки. Вплив швидкості кристалізації на формоутворення графіту вельми істотно. При високій швидкості кристалізації утворюється білий чавун, має повністю пов'язаний вуглець. При дуже малій швидкості кристалізації утворюється сірий феритний чавун. Для освіти чисто перлитної структури металеві матриці потрібне точне визначення термодинамічних властивостей форми при даному хімічному складу чавуну, масі виливки, товщиною стінки й температурі заливання металу. зниження швидкості кри-

сталізації сприяє утворенню в структурі рівномірно розподіленого графіту без наявності міждендритного і точкового графіту.

В ЧНУ ім. Петра Могили проводяться дослідження структуроутворення та технології отримання поверхневих високоміцних структур з перемінною стійкістю. В рамках даної тематики проводиться розробка матеріалів та конструкцій. Однією з перших розробок в даному проекті став спосіб виготовлення роз'ємного кокілю, із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану.



1 – корпус, 2 – облицювання з титанової губки, 3 – карбідний термоізолюючий шар

Рис. 1. Комбінований кокіль

Для вирішення проблем неоднорідності структури та поверхневого відбілу чавуну на першому етапі [6] було запропоновано застосування пористої титанової губки як матеріалу для вставок або елемента багат шарових кокілів (рис. 1), що дозволило зробити процес поверхневого застигання при контакті відливку з вставкою більш контрольованим.

Розвитком даної ідеї став удосконалений склад композиційного матеріалу для відливання поршневих кілець у кокіль і для виливниці, що використовується для відцентрового лиття гільз циліндрів двигунів, насосів або компресорів з 4,7 % наповненням $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – білого тугоплавкого порошку [1], що має оптимальний набір властивосте у порівнянні з іншими неорганічними наповнювачами: низька теплопровідність, висока твердість, висока корозійна стійкість, низька щільність, збереження міцності у широкому діапазоні температур, невисока вартість. Отриманий композиційний матеріал (рис. 2) в якості матеріалу для кокілю позитивно впливає на структуру чавуну: відсутність відбілення, на розташування і розмір включень графіту, розмір міждендритних зерен та інші характеристики структури.

Вклад основного матеріалу. Клименко Л. П., як один з авторів проекту, визначив ряд недоліків, притаманних технології виробництва даного матеріалу з застосуванням наповнювача 4,7 % $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд) [1]: високий відсоток браку внаслідок обсіпання формувальної суміші, висока вірогідність розкришування при механічному впливі на готову заготовку, складність виймання заготовки після пресування, через відсутність змазки, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху.

Першим етапом даного дослідження стала розробка методів зменшення браку внаслідок просипання. Для цього нами було запропоновано застосовувати метод вологого замішування для рівномірного розподілу наповнювача в суміші з титановою губкою. По-

чатково передбачалось вигорання силікатної основи в процесі спікання, але отриманий при виготовленні перших зразків композиту результат відрізнявся від заданого теоретично.

Силікатна основа на якій замішувались титанова губка з наповнювачем утворила стійкі зв'язки з металом і наповнювачем, граючи роль своєрідної керамічної матриці, що в тому числі знижувала пористість готового матеріалу та підвищувала його трибологічні характеристики.

Визначено, що основні напрямки досліджень властивостей отриманої матриці будуть напряму пов'язані з умовами експлуатації матеріалу. Саме в ході вдосконалення процесу виробництва було визначено як основні розробку сумішей наповнювачів та матриці для експлуатації в умовах підвищених температур (кокілі та кришки кокілів), а також в умовах підвищених фрикційних навантажень (двигуни, броневі пластини). В ході даних робіт, було розроблено та направлено для патентування керамічну матрицю у вигляді рідкого скла для металокерамічних композитних матеріалів на основі порошку губчатого титану.

Результатом досліджень в напрямку удосконалення даного методу стала серія експериментів по застосуванню наповнювачів різного складу та фракції у складі композиційних матеріалів.

Так, найкращу стійкість в умовах термічних навантажень проявила суміш титанової губки та Al_2O_3 у силікатно-спиртовій матриці, що має дещо меншу теплопровідність та вищу зв'язуючу здатність ніж просто силікатна. Не гірші властивості проявили подібна суміш з наповнювачем з базальтової смоли замість Al_2O_3 , а також їх суміш. Навіть в суміші з не призначеними для високих температур наповнювачами силікатна та силікатно-спиртова матриця підвищували жаростійкість зразків в порівнянні з простою сумішшю титанова губка-наповнювач.

Як і його попередники композиційний матеріал на основі порошку титану з наповнювачем в суміші з матрицею рідкого скла виготовляється методом порошкової металургії з рівномірним розподілом наповнювача в об'ємі матриці, та подальшим спіканням у вакуумній печі при температурі 1100 °С.

При стиканні титанового порошку з сумішшю матриці та наповнювача, відбувається заповнення пор в матеріалі, утворення захисної плівки навколо часток металу, витиснення залишків суміші, що здійснює роль змазки при пресуванні. У наслідок цього спаювання часток тиском відбувається з високою швидкістю.

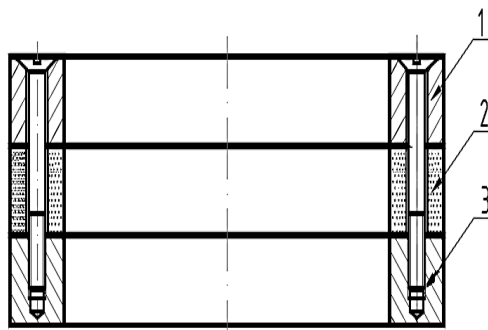
Особливістю застосування матриці є висока швидкість розпаду на повітрі, а, як наслідок, загусання суміші, що вимагає пресування заготовки не пізніше 3 годин від замішування суміші, титанова губка-наповнювач-силікатна (або силікатно-спиртова) матриця, в той час, як спікання може відбуватись і значно пізніше. Як результат, ми отримуємо теплоізолюючий

матеріал з закритою пористістю, що за своїми характеристиками на 25–50 % в залежності від характеру звязуючої матриці та наповнювача.

Прикладом застосування даного матеріалу може бути його застосування в якості тепло ізолюючого шару у кришці для кокілю відцентрового лиття.

Матеріал тепло ізолюючого шару здійснює значний вплив на його термодинамічні властивості. При стиканні з титану ізолюючим шаром відбувається спайка. У наслідок цього спаювання компонентів кришки відбувається з високою швидкістю [7].

Введення подібної конструкції дозволить знизити теплопровідність кришки в 1,5–3 раз в залежності від матеріалу ізолятора та зменшити її ціну на порядок, за рахунок зниження кількості металу титану в конструкції. Дана схема може бути використана, для виробництва кришок кокілів, що є елементом конструкцій для лиття поршневих кілець у кокіль, або відцентрового лиття гільз циліндрів двигунів, насосів або компресорів.



1 – Кришки із сплаву титана; 2 – пористий ізолятор; 3 – штифтовий з'єднувальний вузол

Рис. 2. Схема конструкції кришки кокілю

Таким чином, було досліджено та апробовано новий метод виробництва порошкових композитів, що полягає у вологому замішуванні суміші наповнювача з титановою губкою в рідкій керамічній матриці для оптимізації трибологічних характеристик матеріалу та підвищення його термічної стійкості. Єдиною особливістю процесу виробництва стала необхідність пресування заготовки не пізніше 3 годин від замішування.

Оптимальним визначено використання багатшарової структури з монометалічних вставок та пористих тепло ізоляторів на силікатно спиртовій матриці з різними наповнювачами в залежності від бажаних параметрів тепло ізолюючого шару.

Корунд (Al_2O_3) – забезпечує термостійкість готової структури за рахунок розподілу по об'єму матеріа-

лу. Так як порошок має досить високу твердість в поєднанні з дрібним розміром, в композиті він утворює в поєднанні з силікатами досить міцний та жаростійкий керамічний композит. Готова структура здатна бути як металокерамікою (при використанні дрібнодисперсного порошку титанової губки, так і керамікою армованою металом при застосуванні крупної фази. В ході ранніх фазових досліджень композиту рутил-корунд, було визначено, що при спіканні у вакуумі за температури 1100 °С корунд не вступає в хімічну взаємодію з дрібнодисперсним оксидом титану і утворений композит має виключно фізичну природу в'язків, в той же час є висока вірогідність просипання порошку Al_2O_3 при формуванні суміші для пресуванні.

Таблиця 1

Параметри композиту $TiO_2-Al_2O_3$

Твердість HRB	Діаметр екс.	Діаметр літ.	Фаза	Параметр решітки		
				$\alpha-Ti$		
35,45	2,532	2,540	$\alpha-Ti_{[100]}$	$\alpha-Ti$		
38,675	2,328	2,340	$\alpha-Ti_{[002]}$	a, нм	c, нм	c/a
40,5	2,227	2,230	$\alpha-Ti_{[101]}$	0,2924	0,4872	1,67
41,5	2,176	2,190	$TiO_{2[111]}$ (рутил)	TiO_2		
43,8	2,067	2,050	$TiO_{2[210]}$ (рутил)	a, нм	c, нм	
52,95	1,729	1,720	$\alpha-Ti_{[102]}$	0,4559	0,2949	
57,15	1,612	1,620	$TiO_{2[220]}$ (рутил)			
63	1,475	1,470	$\alpha-Ti_{[110]}$			
70,0075	1,343	1,330	$\alpha-Ti_{[103]}$			
72,75	1,300					
75,9	1,254	1,248	$\alpha-Ti_{[112]}$			
77,3	1,234	1,230	$\alpha-Ti_{[201]}$			
80,45	1,194	1,17;1,76	$TiO_{2[321]}$ (рутил); $\alpha-Ti$			

Як видно з таблиці корунд не вступає в хімічний зв'язок.

Діоксид кремнію – надає антиадгезійні властивості, знижує теплопровідність в меншій мірі, зміцнює силу з'єднання часток. Як і оксиди алюмінію та хрому є керамікою, а відповідно володіє високою стійкістю при високих термічних навантаженнях, тому кремній є легувальною домішкою, що широко використовується з метою підвищення жаростійкості сталей.

Не дивлячись на сказане, сплави з високим вмістом кремнію або алюмінію мають суттєві недоліки: крихкість, складність обробки тиском, складність прогнозування готових структур, що робить дані сплави нетехнологічними. Для усунення вказаних

недоліків дані елементи додають до складу сталей в невеликих кількостях.

Навіть малі кількості даних легувальних елементів можуть стати причиною значного погіршення сплавів. Виходом в даному разі можуть стати два основних шляхи їх застосування. Першим є поверхневе утворення композитних структур при обробці поверхонь деталей, і як наслідок утворення захисних шарів на поверхні матеріалу з одночасним легуванням поверхневого шару металу. Альтернативним шляхом є застосування даних компонентів у порошковій металургії для утворення металокерамічних композитів, здатних поєднати в собі переваги металу та кераміки.



Рис. 3. Композит на основі губчастого титану з наповнювачем SiO_2

Додавання оксиду кремнію до композиційного матеріалу на основі титанового порошку підвищує здатність поглинати токсини, знижує можливість збивання відфільтрованої речовини в комки, підвищуючи термін служби, в меншій мірі підвищує антифрикційні властивості матеріалу через протиадгезійну дію.

Графіт – знижує теплопровідність, утворює сполуку карбід титану, що підвищує жаростійкість після спікання.

При дослідженні спечених зразків, фазовий аналіз показав наявність чітких піків α -Ті з гексагонально щільно упакованою решіткою, на дифрактограмі також наявні чітко виражені піки оксиду титану тетрагексагональної сигонії рутил.

В системі встановлено утворення карбїду $\text{TiC}_{0,5}$ (δ -фази) з структурою типу NaCl (еталонне значення параметру решітки $a = 0,43270$ нм), що відповідає діаграмі стану Ti-C.

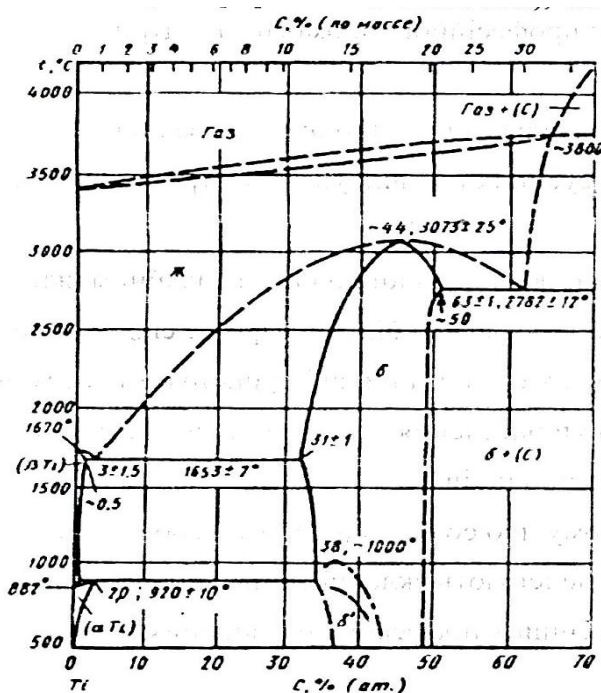


Рис. 4. Діаграма Ti-C

Розчинність С в Ті при евтектичній температурі складає 0,55% (ат.). Карбон підвищує температуру $\alpha \rightarrow \beta$ -перетворення Ті від 822 °С до 920 °С – температури перитектоїдної реакції утворення α -Ті. Параметр решітки ТіС в області гомогенності фази варіюється від $a = 0,4285$ нм до максимального значення $a = 0,43305$ нм ТіС_{0,86}) після чого до $a = 0,43280$ нм

для карбїду в рівноважному стані (прийняті до уваги найвищі з поєднувальних значень, так як домішки О та N зменшують параметр решітки). При розчиненні С в карбїді ТіС спостерігається зменшення розмірів елементарної комірки ТіС тим більше, чим ближче співвідношення атомів С та Ті.

Таблиця 2

Параметри композиту ТіО₂-С

Твердість HRB	Діаметр екс.	Діаметр літ.	Фаза	Параметр решітки		
				α -Ті		
35,8	2,508	2,540	α -Ті _[100]			
36,5	2,462	2,490	ТіС _[111] ; ТіО ₂ [110] (рутил)	а, нм	с, нм	с/а, нм
38,4	2,344	2,341	α -Ті _[002]	0,2924	0,4737	1,62
39,3	2,292	2,230	α -Ті _[101]	ТіО ₂ (рутил)		
41,3	2,186	2,190	ТіО ₂ [111] (рутил)	а, нм	с, нм	
43,5	2,080	2,050	ТіО ₂ [210] (рутил)	0,4521	0,2736	
53,6	1,710	1,728	α -Ті _[102]			
61,8	1,501	1,520	ТіС _[220]			
63,35	1,468	1,477	α -Ті _[110]			
70,85	1,330	1,330	α -Ті _[103]			
74,5	1,274	1,275	α -Ті _[200]			
75,55	1,258	1,248	α -Ті _[112]			
76,5	1,245	1,245	α -Ті _[222]			
77,6	1,230	1,230	α -Ті _[230]			

Наявність чистого вуглецю не встановлено, що найвірогідніше зумовлено низькою оберігаючою здатністю вуглецевої маси.

Базальтова смола – сильно знижує пористість, підвищує міцність матеріалу, знижує теплопровідність, підвищує жаростійкість. Даний наповнювач формований на основі суміші епоксидної смоли з іншими

наповнювачами, а тому має дуже високу ефективність при формуванні керамічних та металокерамічних композитів.

Червоний бокситний шлам – спричиняє пониження теплопровідності, зниження пористості.

Армування базальтовими волокнами – зміцнює матеріал, надає конструкційної міцності.

Таблиця 3

Основні характеристики наповнювачів

Наповнювач	Хімічна формула	Щільність кг/м ³	рН водної вигяжки	Твердість по Моссу	Температура	Модуль пружності, ГПа	Коефіцієнт Пуассона
Каолін	Al ₄ (Si ₂ O ₅)(OH) ₈	2600	4,5	1	1000	–	–
Тальк	Mg ₃ (Si ₄ O ₁₀)OH	2788	8,1–9,6	1	1500	3,5	0,4
Крейда	CaCO ₃	2600–2900	9,2	3	920	6–9	0,28–3,0
Кварц (скло)	SiO ₂	2248	6–7,5	7–7,5	1600	6,7–8,0	0,07–0,15
Барит	BaSO ₄	4480	6,5–7	3–3,5	1143	5,9–6,1	0,25–0,32
Аеросил	SiO ₂	2350	4	4–6	1400	6,5	0,15
Технічний вуглець ПМ-15	C	1820	8,5	3	1000	–	0,35
Рутил	TiO ₂	4200–4300	6–7	6,7–7,2	1980	29	0,28
Корунд	Al ₂ O ₃	3900–4000	6–7	9	2000	37–52	0,13–0,2
Шлам	(мас.%): Fe ₂ O ₃ 40–55, Al ₂ O ₃ 14–18, CaO 5–10, SiO ₂ 5–10, TiO ₂ 4–6, Na ₂ O 2–4	2800–3200	11–13	6–9	2000	6–9	–

Використання пошарової структури дозволяє посилити ефект від використання матриці за рахунок надання кожному шару найбільш вигідних в умовах експлуатації характеристик за рахунок наповнювачів. Корунд – пониження теплопровідності найбільш ефективне в матриці через хімічне споріднення з губчатим титаном і можливість розкришування в ході спікання без утворення стійких сполук, що знижує ефективність пресування без матриці.

Висновки. Таким чином, в цій роботі охарактеризовано вплив структури матеріалу та геометрії поверхні на її зносостійкість та наведено основні параметри впливу механічних властивостей конструкційного матеріалу на процес зношування кокілю в умовах високих температур. Розглянуто основні фактори, що впливають на матеріал поверхні кокілів та пористих вставок та визначити залежність зносостійкості від дії цих чинників як елементу умов експлуатації.

Досліджено механізм дії термічного навантаження на композитні матеріали. Як наслідок, описано конструктивні та технологічні методи підвищення надійності та довговічності поверхонь кокілів та вставок із циклічними термічними навантаженнями. Визначено основні перспективні напрямки розробки жаростійких композитних матеріалів. Теоретично обґрунтовано можливість утворення складних композитних структур для специфічних агресивних умов експлуатації. Розроблено перспективний метод структуроутворення матричних композицій, на основі якого, було сформовано ряд технологій виробництва композитів з пониженою теплопровідністю для роботи в умовах підвищених термічних навантажень.

Перспективним, в цьому разі, виглядає застосування порошкових композитів, а також інших матеріалів з складною структурою, здатних як рівномірно розподіляти механічні навантаження на матеріал так і довгий час опиратись тепловій деформації.

Однією з перших розробок в даному проекті став спосіб виготовлення роз'ємного кокіля, із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану [1]. Клименко Л. П., як один з авторів, визначив ряд

недоліків, притаманних технології виробництва даного матеріалу з застосуванням наповнювача 4,7 % α - Al_2O_3 (корунд): високий відсоток браку внаслідок обсіпання формувальної суміші, висока вірогідність розкришування при механічному впливі на готову заготовку, складність виймання заготовки після пресування, через відсутність змазки, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху.

Розробка методів зменшення браку внаслідок просипання передбачала застосування методу вологого замішування в рідкому склі для рівномірного розподілу наповнювача в суміші з титановою губкою. Початково передбачалось вигорання силікатної основи в процесі спікання, але отриманий при виготовленні перших зразків композиту результат відрізнявся від заданого теоретично. Силікатна основа на якій замішувались титанова губка з наповнювачем утворила стійкі зв'язки з металом і наповнювачем, граючи роль своєрідної керамічної матриці, що в тому числі знижувала відкрити пористість готового матеріалу без збільшення щільності та підвищувала його трибологічні характеристики і термостійкість.

ЛІТЕРАТУРА

1. Декларацийний патент на корисну модель № 70232, кл. B22D 23/00.
2. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Донецьк : Донбас, 2004. – ISBN 966-7804-14-3.
3. Спорягін Е. О. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів : [навч. посіб.] / Е. О. Спорягін, К. Є. Варлан. – Д. : Вид-во ДНУ, Дніпропетровськ, 2012. – 188 с.
4. ГОСТ 17746-79 Титан губчатый. Технические условия.
5. Кондрачук М. В. Трибологія / М. В. Кондрачук, В. Ф. Хабугель М. І., Пашечко Є. В. Корбут. – К. : Вид-во Національного Авіаційного університету «НАУ-друк», 2009. – 232 с.
6. Клименко Л. П. Ресурс двигателей внутреннего сгорания и пути его повышения / Клименко Л. П., Прищепов О. Ф., Андреев В. И. – М. : ЧДУ ім. Петра могили, 2015. – 195 с. – ISBN 966-7458-27-х.
7. Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий, И. Г. Носовский, А. К. Караулов и др. ; под общей ред. Б. И. Костецкого. – К. : Техника, 1976. – 296 с.
8. Davis J. R. (editor) (2001). ASM Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys. ASM International. ISBN 0871707268.
9. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / Власов В. М. – М. : Машиностроение, 1987. – 304 с.
10. Шевеля В. В. Фреттинг-усталость металлов / В. В. Шевеля, Г. С. Калда. – Хмельницький : Поділля, 1998. – 299 с. – ISBN 966-7158-24-1.
11. ДСТУ 3830-98 Корозія металів і сплавів. Терміни та визначення основних понять.

А. И. Случак, В. В. Шугай, О. Ф. Прищепов, В. И. Андреев,
Черноморский национальный университет им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

МЕТОДИКИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ЗАДАНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ДЛЯ КОКИЛЕЙ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ЛИТЬЯ

Жаростойкость композитных материалов – показатель, характеризующий резистентность комбинированной структуры материала к тепловой деформации под воздействием экстремальных термических нагрузок. Разработка методов структурообразования композитных материалов со свойствами, соответствующие условиям эксплуатации является одним из наиболее актуальных направлений конструкторской и научной работы в области материаловедения. Основной проблемой эксплуатации жаростойких материалов является некоторая непредсказуемость, с которой осуществляют свое влияние основные факторы, вызывающие износ цилиндрических металлических деталей в условиях агрессивной кинетического, теплового и химического воздействия рабочей среды. Соответственно основные цели данного исследования включают как изучение основных факторов, влияющих на износ деталей, рассчитанных на повышенные нагрузки так и обзор основных технологических решений, направленных на повышение износостойкости таких деталей путем формирования поверхностных композитных структур. Учитывая это, был разработан перспективный метод структурообразования матричных композиций, на основе которого был сформирован ряд технологий производства композитов с пониженной теплопроводностью для работы в условиях повышенных термических нагрузок.

Ключевые слова: металлокерамика; композиты на титановой губке с наполнителем; керамическая матрица; прессование.

A. Sluchak, V. Shugay, O. Prishchepov, V. Andreev,
Petro Mohyla Black Sea National University, Nikolaev, Ukraine

**METHOD STRUCTURE FORMATION COMPOSITE MATERIALS
WITH DESIRED CHARACTERISTICS FOR THE METAL MOLD CENTRIFUGAL CASTING**

This article focuses on wear-resistant and heat-resistant composite materials. The subject of our study is the formation of composite metal mold for centrifugal casting. Development of effective methods STRUCTURE-forming for Composite materials with specified characteristics is very important issue for the industry, as well as heat-resistant insulating materials today have low working time. The aim of this work is to study the main factors affecting the wear designed details for higher loads and overview of the main technological solutions aimed at improving the durability of these parts. Was first studied and tested a new method of producing composite powder that is the wet mixing of titanium sponge with filling liquid ceramic matrix for optimization of the tribological characteristics and its thermal stability. The only feature of the production process was the need of pressing the workpiece within 3 hours of mixing. The best method is using a multilayer structure monometallic inserts and porous heat insulators for alcohol-silicate matrix with different fillings, depending on the desired parameters of the heat insulating layer. We developed methods that can be applied to obtain composite materials for metal mold intended for casting piston ring casting or centrifugal casting cylinder liners, pumps or compressors; as well as the creation of filters and porous construction materials with high wear resistance and impact resistance.

Key words: *cermets; composites titanium stuffed with filler; ceramic matrix; pressing.*