

О. І. Случак

КОМБІНОВАНІ СТРУКТУРИ З ДВОМА МАТРИЦЯМИ НА ОСНОВІ ТИТАНОВОЇ ГУБКИ В ЛИТТІ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ ДВС

Наведено ряд аспектів структуроутворення металевих виливків в ході взаємодії футерування кокілів з розплавом металу. Наводяться основні аспекти розроблених технологій отримання композитних матеріалів, «закриття пористості» нанесеними покриттями, а також перспективи заміни такого методу закриттям пор на стадії отримання. Металокерамічні композитні матеріали розглядаються, як комбіновані структури з двома матрицями. Пропонується застосовувати цей тип композитів для регулювання теплових процесів в виливках. Оптимальним визначено співвідношення порошкових компонентів 1:4 з додаванням рідкого скла в кількості, достатній для змочування. Розроблювані методи мікро- та макроконтролю об'ємних характеристик комбінованих композитів, дозволять в широкому діапазоні змінювати їх параметри.

Вступ

Актуальність. Актуальність дослідження полягає у всебічному охопленні питання впливу композитних матеріалів ливарних форм на якість чавунних деталей ДВС. В процесі формування конструкційних матеріалів для деталей ДВС переважно застосовуються традиційні технології контролю структури поверхонь тертя. Це означає вплив на макрорівні, в ході якого відбуваються мікропроцеси, на зразок подрібнення або укрупнення перлітних зерен. Такий вплив може бути реалізовано шляхом контролю теплових, енергетичних та хімічних перетворень в матеріалах поверхонь тертя. Дане дослідження зосереджено на вдосконаленні методів макро- та мікроконтролю структури та властивостей чавунних поверхонь тертя за рахунок використання композитних матеріалів із заданими експлуатаційними характеристиками.

Методична база. В 2014-2018 роках в ЧНУ імені Петра Могили проводились дослідження в рамках проекту «Структуроутворення та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю» ДР № 0115U000317. В ході досліджень структуроутворення матеріалів проф. Клименком Л. П. було розроблено спосіб виготовлення роз'ємного кокіля із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану [1]. Результатом наших досліджень з удосконалення вказаного методу стала серія досліджень з застосування наповнювачів з різними властивостями у складі композиційних матеріалів.

Мета дослідження: охарактеризувати особливості розроблених комбінованих композитних матеріалів на основі титанової губки для ливарних форм.

Об'єкт дослідження: композитні матеріали на основі титанової губки.

Предмет дослідження: комбінована структура композитних матеріалів на основі титанової губки.

Завдання дослідження:

– провести дослідження макро- та мікро-

структури розроблених раніше композитних матеріалів на основі титанової губки;

– визначити основні особливості комбінованої структури отриманих матеріалів;

– проаналізувати можливі напрямки мікро та макроконтролю структури розроблених матеріалів;

– сформулювати концепцію розвитку комбінованих композитних матеріалів на основі титанової губки як структур з двома матрицями.

Огляд основних розробок

Основними особливостями експлуатації композитних матеріалів в зоні контакту з розплавом чавуну є агресивна дія на нього температурної деформації та капілярного ефекту [2] для зменшення останнього, і необхідна «закрита пористість», що досягається двома шляхами.

У піщано-глинистих формах здійснюється заміна зношеного шару кераміки після формування виливку. У кокілях відцентрового лиття – регулюване або пасивне управління швидкістю застигання.

На виробництві застосовується поверхневий захист матеріалу виливниці за допомогою фарби, що у випадку з титановою губкою здійснює поверхнєве закриття пористості.

Альтернативним шляхом для «закриття» пор є запропонована в ході попередніх досліджень технологія газотермічного напилювання, що дозволяє нанести на поверхню форми шар металу або сполук металу товщиною 1–3 мм. Після напилювання можна одержати форму, покриту захисним термічно стійким покриттям, що витримує значну кількість виливків. У той же час вона не викликає проблем з усадкою, деформацією й дозволяє відтворити прототип у дрібних деталях.

Обидві технології мають суттєвий недолік у вигляді захищеності лише поверхневого шару, що призводить до проникнення металу в пори при руйнуванні захисної оболонки і, відповідно, до руйнування всієї структури металу по його об'єму.

В ході планування подальшої розробки такого типу матеріалів було висунуто ряд гіпотез:

– перша гіпотеза полягає в тому, що наближення умов застигання виливку в кокіл високого лиття (КВЛ) до лиття в пісчано-глинисті форми (ПГФ) покращить якість виливу через зменшення поверхневого відбілу чавуну [2, 4, 7], і для цього ефекту необхідно наблизити матеріал внутрішньої поверхні кокілю до ПГФ, хоча б в зонах контакту з розплавом. Для цього найбільш доцільно застосувати керамічні, метало- та полімер-керамічні фланці в зоні контакту з розплавом, в першу чергу в конструкції кришок кокілю;

– друга гіпотеза полягає в тому, що кераміка навіть при застосуванні пластифікаторів у вигляді торфу та вермикуліту [3], що підвищить її ударостійкість, не може застосовуватись в усьому КВЛ, адже його рух обов'язково спровокує руйнування крупних керамічних елементів через вібрацію, тому керамічні композити доцільніше застосовувати лише в конструкції кришок;

– третя гіпотеза полягає в тому, що пориста структура футерування за рахунок сповільнення тепловідведення створює умови для регулювання кристалізації чавуну, газовідведення тут грає незначну роль, а капілярний ефект провокує швидке руйнування пористого футерування, тому закриття об'ємної пористості пористих композитів вирішує цю проблему, не погіршуючи терморегулюючі властивості;

– четверта гіпотеза полягає в тому, що мікроструктура поверхні пористого композиту має власну пористість і підпадає під дію вказаного ефекту, хоча і значно меншою мірою, ніж пористий композит без закритої пористості. Для вирішення цієї проблеми пропонується застосувати захисні покриття та трибомодифікацію.

Результати досліджень

Виготовлення розроблених нами композитних матеріалів відбувається способом рівномірного розподілу наповнювачів Al_2O_3 (корунд), базальтова смола, графіт, червоний бокситний шлам, армуючі базальтові волокна по об'єму кожної з заготовок на кожний з шарів композиту за рахунок силікатної матриці рідкого скла, пресуванням з навантаженням 8 тонн та спіканням готового матеріалу у вакуумі при температурі 1100 °С [3].

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) використання капілярних властивостей (фільтри, гідропонна установка). В ході цих робіт, було розроблено та направлено для патентування керамічну матрицю у вигляді рідкого скла для металокерамічних композитних матеріалів на основі порошку губчатого титану.

Контроль пористості здійснювався двома методами:

– за рахунок додавання солі NaCl перед пресуванням та її вимиванням перед спіканням заготовки у вакуумі;

– за рахунок управління пористістю шляхом стискання в ході пресування у відповідності до розробленої раніше математичної моделі.

Проведемо оцінку впливу пористості на інтенсивність затвердіння виливка. Для цього розглянемо у двомірній площині відносну залежність «температура – час затвердіння» і проаналізуємо результати розрахунків швидкості кристалізації при різній пористості форми [7].

Результати досліджень готових композитних матеріалів на основі титанової губки без закриття об'ємної пористості показують помітну зміну поверхні пор лише в дрібнозернистих матеріалах ($d_{ch} = 10-12\text{мкм}$). В інших випадках зменшення питомої поверхні пор зразків при спіканні не перевищує 10–20 %. Для визначення форми й стану поверхні пор застосовувався метод дослідження мікрофотографій, що дозволяє одержати уяву про будову порового простору й деякі відомості про шорсткість поверхні пор. Визначення величини зерна проводилося оцінкою за стандартними шкалами E19 ASTM із застосуванням методу Джеффра і становило: питома поверхня зерна $\Delta = 56\text{ мм}^2/\text{мм}^3$; число зерен на 1 мм^2 (n) = 43 (рис. 1).

При дослідженні спечених зразків, фазовий аналіз показав наявність чітких піків $\alpha\text{-Ti}$ з гексагональною щільно упакованою решіткою, на дифрактограмі також наявні чітко виражені піки оксиду титану тетрагексагональної сигонії рутил. В ході ранніх фазових досліджень мікроструктури композиту з закритою об'ємною пористістю (титанова губка+рідке скло з наповнювачами), було визначено, що при спіканні у вакуумі за температури 1100 °С керамічна матриця не вступає в хімічну взаємодію з дрібнодисперсним оксидом титану і утворений композит має виключно фізичну природу зв'язків.

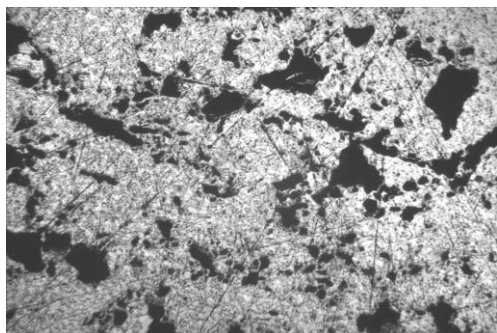


Рис. 1. Мікроструктура титанової губки в композиті

Для зразків з керамічною матрицею на основі жаростійких елементів (титанова губка+рідке скло+ Al_2O_3) характерним є утворення більш якісних зв'язків за рахунок проникнення оплавленого керамічного композиту (розчин корунду в рідкому склі) в більш дрібні пори титанової губки через наближення температури спікання у вакуумі до температури плавлення силікатної глиби 1200–1300 °С (рис. 2).



Рис. 2. Композит (титан, базальтова смола, Al_2O_3 на рідкому склі)

Для зразків з менш жаростійкими елементами (титанова губка+базальтова смола (епоксидна смола+базальтова мука)+рідке скло+ Al_2O_3) характерна проблема «витягування» керамічного розчину через кипіння базальтової смоли, що викликає потребу в плавному охолодженні в діапазоні температур 1100–800 °С для рівномірного розподілу рідких компонентів по об'єму зразка (рис. 3). Перевагою таких матеріалів є формування по об'єму матеріалу порот, повністю закритих керамічною матрицею, що утворює аналог ефекту термосу, знижуючи теплопровідність матеріалу.



Рис. 3. Композит (титан, Al_2O_3 на рідкому склі)

З урахуванням вказаних вище особливостей, можна констатувати, що розроблені композити з закритою об'ємною пористістю являють собою комбіновані структури з двома матрицями, зв'язаними за рахунок змочування титанової губки керамікою при її плавленні у вакуумі.

Встановлений метод закриття порового простору композитів включає застосування суміші наповнювача та силікатної матриці ($Na_2O(SiO_2)_n$), що у суміші з наповнювачами різних типів надає матеріалу специфічні трибологічні та термоізоляційні властивості, а також виступає в якості змазки при пресуванні та надає можливість рівномірного розподілу наповнювача в об'ємі пресованої заготовки за рахунок матриці.

Важливим, в цьому аспекті, є питання формування металічної матриці та її взаємодії з комплексом керамічна матриця-наповнювач, що утворює специфічні механічні властивості як внаслідок пластичної деформації (аспект комбінованих композитів, в яких металічна матриця є каркасом, який виконує армуючу роль та не вступає в хімічні зв'язки з компонентами другої – керамічної матриці, при чому в момент її перебування в рідкому стані, матеріал набуває однорідності за рахунок фізичного зціплення компонентів в результаті змочування титану керамікою в вакуумі), так і в результаті взаємодії часток титанової губки і порошкоподібних наповнювачів, змочених керамікою, що не перешкоджає хімічній взаємодії компонентів (аспект простих композитів, де керамічна матриця є не матрицею, а пластифікатором, експериментально підтверджено, що процес реалізується при спіканні без вакууму). Питання відношення отриманих композитів до простих чи комбінованих структур залежить від наявності хімічних перетворень при взаємодії металічної матриці з компонентами наповнювачів та вимагає розгляду саме в галузі матеріалознавства.

Властивості отриманих матеріалів залежать як від їх макроструктури, так і від мікроструктури [5]. До макроструктурних характеристик належать: форма та товщина матеріалу, пористість та її складові (розмір комірок, загальна пористість, закрита пористість та ін.), форма поверхні матеріалу (шорсткість часток, питома поверхня, захисні покриття та ін.). До мікроструктурних характеристик належать фазовий склад, мікрорельєф часток та пор, особливості покриттів та легувальних елементів.

Управління макроструктурними властивостями на цей момент реалізовано шляхом контролю пористості двома основними методами: контроль тиску пресування при пластичній деформації та контроль розміру пор шляхом вимивання гранул солі після пресування. Планується реалізувати ряд досліджень, пов'язаних з використанням капілярних властивостей та особливостей процесу змочування металу керамікою в різних умовах та розробити на їх основі методи мікроконтролю для диференційованого закриття пор.

Управління мікроструктурними властивостями на цей момент реалізовано за рахунок формування фазових покриттів на готовому матеріалі та використання процесу спікання в муфельній печі з введенням до складу композиту компонентів, що при взаємодії між собою набувають заданих властивостей (використано для отримання композитних фільтрів за рахунок формування рутилу на поверхні часток). Планується розробити метод об'ємної активації компонентів композитів (по аналогії з ентеросорбентами) та метод мікроконтролю властивостей поверхні комірок за рахунок формування покриттів на частках порошку титанової губки до пресування.

Аморфна структура кераміки є найбільш пластичною в плані контролю її властивостей в процесі обробки. Проблема крихкості кераміки є одним з найбільш важливих факторів, що заважають її використанню в композитних матеріалах, особливо при їх використанні в умовах підвищеної вібрації. Основним постулатом розроблюваної концепції розвитку комбінованих композитних матеріалів на основі титанової губки, як структур з двома матрицями, є поєднання пластичного металевого матриці-каркасу та стійкої до механічних та термічних навантажень керамічної матриці, що варіюватимуть співвідношення основних компонентів в залежності від галузі застосування. Розроблювані методи мікро- та макроконтролю об'ємних характеристик комбінованих композитів, дозволять в широкому діапазоні змінювати їх характеристики.

Висновки

Широкий діапазон застосування, визначений побудовою методик створення матеріалів на загальній концепції закриття пористості металевої матриці за рахунок композиту з керамічною матрицею в залежності від складу композитів, може дати перспективні для впровадження результати у вигляді матеріалів різного призначення, та що важливіше, концепції комбінованих матеріалів, яка може стати більш грубою та дешевою аналогією ряду матеріалів, створених за допомогою нанотехнологій.

Створюючи різну пористість виливниці й регулюючи її теплопровідність, можна управляти усередненою швидкістю затвердіння розплаву при формуванні вилівка й, відповідно, процесами структуроутворення. Пористе облицювання може забезпечувати поверхневе модифікування, мікролегування деталей й істотно впливати на їхні службові властивості.

Комбінування екстенсивного підходу з заміною дешевих одноразових елементів на основі розроблених композитів з інтенсивним через вдосконалення структури та складу самих композитів і конструкцій, в яких їх застосовують, і є основною інновацією подальших досліджень.

Список літератури:

1. Патент на корисну модель № 96455, Україна. Матеріал кокілю і виливниці для відливання поришневих кілець, гільз циліндрів двигунів, насосів та компресорів 10.02.2015 [Текст] / Клименко Л. П., Андреев В. І., Прищепов О. Ф., Головка А. Є., заявник ЧДУ імені Петра Могили. 2. Клименко Л. П. Математичне моделювання теплових процесів при литті в металевий кокіль короткого порожнинного циліндричного вилівка / Л. П. Клименко, Л. М. Дихта, В. І. Андреев // *Технологія виробництва ДВС. Двигатели внутреннего сгорания.* – 2015. – № 1. – С. 57–61. – ISSN 0419-8719. 3. Андреев В. І., Случак О. І. Формування поверхневих композитних структур для продовження терміну експлуатації деталей в аспекті зменшення обсягів відходів / В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай, О. І. Случак // *Наукові праці: науково-методичний журнал.* – Вип. 267. Т. 288. Екологія. – Миколаїв: Видавництво ЧДУ ім. П. Могили, 2016. – 128 с. 4. Головка А. Проектирование литья заготовок поришневых колец с помощью программного обеспечения LVMFlow / А. Головка, Л. П. Клименко, В. И. Андреев // *Трибология, энерго- та ресурсозбереження (в рамках Міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум – 2015: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі»): тези.* – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – С. 13–17. 5. Клименко Л. П. Ресурс двигателей внутреннего сгорания и пути его повышения / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. И. Андреев / Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 196 с. – ISBN 966-7458-27. 6. Андреев В. І. Методики структуроутворення композиційних матеріалів з заданими характеристиками для кокілів відцентрового лиття / В. І. Андреев, О. І. Случак, В. В. Шугай О. Ф. Прищепов // *Наукові праці. Техногенна безпека.* – 2016. – Том 280. Вип. 268. – С. 44–51. – ISSN

2311-1232. 7. Клименко Л. П. Управління процесами формування пористих поверхневих структур на стадії отримання заготовок / Л. П. Клименко, О. Ф. Прищепов, В. І. Андреев, О. І. Слуцк, В. В. Шугай. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2016. – 145 с. 8. Некрасов Г. Б., Одарченко І. Б. Основы технологии литейного производства. Плавка, заливка металла, кокильное литье / Г. Б. Некрасов, И. Б. Одарченко / Учебное пособие. – Минск: Высшэйшая школа, 2013. – 224 с.

Bibliography (transliterated):

1. Klymenko, L. P., Andriev, V. I., Pryshchepov, O. F., Holovko, A. Ye. 2015. Material of quilts and molds for pouring piston rings, cylinder liners of engines, pumps and compressors. Ukraine. Patent for utility model No. 96455 02/10/2015. 2. Klymenko, L. P., Dykhita, L. M., Andriev, V. I., (2015), "Mathematical modeling of thermal processes during casting into a metal coke of short-cavity cylindrical casting" ["Matematychnе modeluvannya teplyvnyh protsesiv pry lityi v metalevyi kokil kortokogo porogynnogo tsylindrychnogo vulyvka"], Technology of production of ICE. Engines for internal combustion, Vol. 1., Pp. 57–61. 3. Andriev, V. I., Sluchak O. I., Shugai V. V., Sluchak O. I., (2016), "Formation of surface composite structures for the extension of the life of parts in the aspect of reduction of waste volumes" ["Formuvannya poverkhnyvnyh kompozytnykh struktur dlia prodovzhennia terminu ekspluatatsii detalei v aspekti zmenshennia obsiagiv vidkhodiv"], Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, Vol. 267. No 288, P. 128. 4. Holovko, A., Klymenko, L. P., Andriev, V. I., (2015), "Designing the casting of piston ring

rings with the help of LVMFlow software" ["Proektirovanie litiya zagotovyv porshnevnykh kolets s pomoshchiu programmynogo obespechenia LVMFlow"], Tribology, energy and resource conservation (within the framework of the International scientific and practical conference "Olbian Forum – 2015 : Strategies of the Black Sea Region Countries in the Geopolitical Space", Theses, Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, Pp. 13–17. 5. Ресурс двигателей внутреннего сгорания и пути его повышения Клыменко, Л. П., Прищепов, О. Ф., Андриев, В. И., (2015), "Resource of internal combustion engines and ways of its increase" ["Resurs dvigateley vnutrennego sgorania I puti yego povyshenia"], Scientific works, Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, 196 p. 6. Andriev, V. I., Sluchak, O. I., Shuhai, V. V., Pryshchepov, O. F., (2016), "Methods of Structural Formation of Composite Materials with Specified Characteristics for Centrifugal Castings" ["Metodyky strukturoutvorennia kompozytsiinykh materialiv z zadanyu kharakterystykamy dlia kokiliv vidtsentrovogo lityia"], Scientific works. Technogenic security, Vol. 280, No. 268. Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, Pp. 44–51. 7. Klymenko, L. P., Pryshchepov, O. F., Andriev, V. I., Sluchak, O. I., Shuhai, V. V., (2016), Management of the processes of formation of porous surface structures at the stage of obtaining workpieces [Upravlinnia protsesami formuvannya porystykh poverkhnyvnykh struktur na stadii otrymannia zagotovyv], Publication of the Petro Mohyla BDU, Mykolaiv, 145 p. 8. Nekrasov, G. B., Odarchenko, I. B., (2016), Foundations of foundry technology. Melting, pouring of metal, casting molding [Osnovy tekhnologii liteynogo proizvodstva. Plavka, zalivka metalla, kokilnoe litye], The high school, Minsk, 224 p.

Надійшла до редакції 09.07.2018 р.

Слуцк Александр Игоревич – аспірант Чорноморського національного університету ім. Петра Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: slu4ok@gmail.com.

КОМБИНИРОВАННАЯ СТРУКТУРА С ДВУМЯ МАТРИЦАМИ НА ОСНОВЕ ТИТАНОВОЙ ГУБКИ В ЛИТЬЕ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВС

А.И. Слуцк

В статье приведен ряд аспектов структурообразования металлических отливок в ходе взаимодействия футеровки кокилей с расплавом металла. Приводятся основные аспекты разработанных технологий получения композитных материалов, «закрытие пористости» нанесенными покрытиями, а также перспективы замены такого метода закрытием пор на стадии получения. Металлокерамические композитные материалы рассматриваются, как комбинированные структуры с двумя матрицами. Предлагается применять данный тип композитов для регулирования тепловых процессов в отливках. Оптимальным определено соотношение порошковых компонентов 1: 4 с добавлением жидкого стекла в количестве, достаточном для смачивания. Разрабатываемые методы микро- и макроконтроля объемных характеристик комбинированных композитов, позволяют в широком диапазоне изменять их параметры.

COMBINED STRUCTURES OF TWO MATRIXES BASED ON TITANIUM SPONGE IN THE FRAMEWORK OF DIGITAL ITEMS OF DIC

O.I. Sluchak

The article reviews main aspects of the structure formation for metallic castings are presented in the course of the interaction in cocoils fusing with metal melt. The main aspects of developed technologies for the production of composite materials, «closure of porosity» by applied coatings are presented, as well as the prospects of replacing such a method with the closure of pores at the receiving stage. Metal-ceramic composite materials are considered as combined structures with two matrices. It is proposed to apply this type of composite for the regulation of thermal processes in castings. The ratio of powder components 1:4 to the amount of liquid glass, sufficient for wetting, is determined optimally. Developed methods of micro and macro control of bulk characteristics of composite composites, will allow them to change their characteristics in a wide range.