

ВИКОРИСТАННЯ КЕРАМІЧНИХ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ В ЯКОСТІ ФУТЕРУВАННЯ ДЛЯ ЛИВАРНИХ КОКІЛІВ

Проведені дослідження доводять, що існує два основних методи створення порожнистих циліндричних відливок: лиття в кокіль та в піщано-глинисту форму. Серійне використання кокілів передбачає доцільність застосування при обсягах більше 500 відливок. Основною проблемою є термічна корозія поверхні металу, що викликає деформацію та руйнування в зонах контакту кокілів з розплавом. Для подовження терміну експлуатації доцільно застосовувати футерування різних типів. У результаті проведених досліджень було обґрунтовано доцільність використання змінних керамічних вкладок на основі втор сировини у вигляді червоного бокситного шламу та відходів шліфування металу. Основою складу керамічних вкладок є порошковий компонент піщано-глинистих форм для більш поширеного ніж кокільне лиття в ПГФ. Ефективність їх використання підвищено за рахунок використання керамічної матриці у вигляді рідкого скла та армування наповнювачами. Розроблена технологія дозволить знизити забрудненість повітря в виробничих цехах за рахунок технології вологого замішування в рідкому склі, а також знайти додатковий метод утилізації червоного бокситного шламу і відходів шліфування металів корундовим абразивом.

Ключові слова: титанова губка; рутил; керамічні вкладки; футерування для кокілів відцентрового лиття; червоний шлам; корунд; наповнювачі

Проведенные исследования показывают, что существует два основных метода создания полых цилиндрических отливок: литье в кокиль и в песчано-глинистую форму. Серийное использование кокилей предусматривает целесообразность применения при объемах более 500 отливок. Основной проблемой является термическая коррозия поверхности металла, вызывает деформацию и разрушение в зонах контакта кокилей с расплавом. Для продления срока эксплуатации целесообразно применять футеровки различных типов. В результате проведенных исследований была обоснована целесообразность использования переменных керамических вкладок на основе вторсырья в виде красного бокситного шлама и отходов шлифования металла. Эффективность их использования повышена за счет использования керамической матрицы в виде жидкого стекла и армирования наполнителями. Таким образом, композитные материалы продлевают срок эксплуатации кокилей центробежного литья, в свою очередь уменьшает объемы отходов от их использования и удешевляет технологию. Разработанная технология позволит снизить загрязненность воздуха в производственных цехах за счет технологии влажного смешивания в жидком стекле, а также найти дополнительный метод утилизации красного бокситного шлама и отходов шлифования металлов корундовым абразивом.

Ключевые слова: титановая губка; рутил; керамические вкладки; футеровки для кокилей центробежного лиття; красный шлам; корунд; наполнители.

The main problem of foundry technologies is thermal corrosion of the casting form metal surface which invokes deformation and destruction in the contact zones of permanent molds with melt. The subject of this research is methods of production of composites based on

secondary raw materials. The main problem is resource intensity of permanent-mould casting which in order to reduce environmental burdens provides extending of lifetime of foundry parts which sustain intense thermal stress. Thus, the main objective is to improve construction of permanent mold of centrifugal molding through the use of cheap ceramic insets made from secondary raw materials in the contact zones of permanent molds with melt. The research undertaken has proved practicability of usage of replaceable ceramic insets made from secondary raw materials in the form of red bauxite sludge and wastes from metal grinding. The effectiveness of their use is improved by using ceramic die in the form of liquid glass and filler reinforcement. Developed method will allow to: reduce essentially generation of wastes from runout of permanent molds due to extending of their lifetime; reduce the cost of production technology of porous heat-resistant insulators due to multiple usage of materials used to produce single-applied sand clay forms; reduce air pollution in production departments due to humid mixing in liquid glass technology; find additional method to recycle red sludge and wastes from metal grinding.

Key words: titanium sponge; rutile; ceramic inlays; liner for centrifugal casting molds; red mud; corundum; fillers.

Постановка проблеми.

Актуальність. Питання розвитку ливарних технологій, в особливості виробництва засобів виробництва, на зразок кокілів відцентрового лиття є однією з найбільш актуальних проблем в промисловості будь якої країни. Розвиток цієї галузі майже завжди супроводжується збільшенням навантаження на оточуюче середовище через потребу в нових матеріалах. В той же час основним трендом розвитку технологій у XXI столітті, безумовно є економічність у використанні енергії та ресурсів.

Об'єктом дослідження є технології лиття.

Предметом виступають методи виробництва футерувальних матеріалів на основі вторинної сировини.

Основна проблема дослідження полягає в ресурсоємності кокільного лиття, що для зменшення навантаження на навколишнє середовище передбачає застосування відходів промислового виробництва як сировини для модифікації деталей ливарного виробництва, що підлягають посиленню термічним навантаженням, шляхом подовження їх терміну експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виготовлення деталей складної конфігурації за допомогою лиття в піщано-глинисті форми є одним з найстаріших технологічних методів виробництва деталей.

Цей спосіб іноді є найбільш оптимальним способом виготовлення деталей. Незважаючи на складність та недоліки технологічного циклу він давно знаходить широке застосування як типовий метод виготовлення складних металічних деталей. Практикою встановлено, що кількість деталей, виготовлення яких доцільно переводити на лиття в форму становить: для першої групи складності – 500 шт., Для другої – 200 шт. і для третьої – 100 шт.

Особливістю точного лиття в піщано-глинисту форму є можливість отримання взаємозамінних виливків з високою точністю (3–5 клас по ГОСТ-2009-55), що у випадку застосування ювелірного варіанту даної технології (лиття по виплавлених моделях) не

потребуватиме механічної обробки, утворюючи відливки з чистою поверхню, відповідної 5–7 класів чистоти по ГОСТ-2789- 59, і з припуском не більше 0,2–0,7, мм.

Перехід від виточування до виготовлення деталей шляхом лиття в піщано-глинисті форми дозволяє знизити собівартість виготовлення деталей в середньому на 30–60 %, а в окремих випадках – більш ніж на 60 %.

При цьому способі виготовлення деталей відходи металу в стружку скорочуються в 6–7 разів, коефіцієнт використання металу підвищується з 0,2 до 0,85, а трудомісткість механічної обробки знижується на 60–70 %.

Виготовлення виливків шляхом лиття відомо давно. У давнину, понад чотири тисячі років тому цей спосіб застосовувався в Єгипті і Китаї, а пізніше в Придніпров'ї та Приазов'ї для виготовлення зброї, прикрас та предметів виробництва.

Спосіб отримання виливків в піщано-глинистій формі знайшов широке застосування в епоху порохи при виготовленні ядер та гармат.

При аналізі складу піщано-глинистої форми застосовуються наступні критерії:

- 1) межа міцності на стиск у вологому і сухому стані.
- 2) гранулометричний склад.
- 3) колоїдальність.
- 4) масова частка води (для порошку)
- 5) втрата маси при прожарюванні.
- 6) межа міцності при розриві в зоні конденсації води і те ж саме при оптимальній активації
- 7) водопоглинення
- 8) масова частка окису заліза, окиду алюмінію, сірки, обмінних катіонів Ca, Mg, Na, K, глинистої складової.

На сьогодні існує більша різноманітність моделей складів.

Модельні склади піщано-глинистої форми

Матеріал вливка	Товщина вливка, мм	Метод формовки	Рекомендована марка глини
Чавун	10–15	Сырая	(П,С,М), (1-3), Т ₁
	Более 50	Сырая	(П,С), (1-3), Т ₁ , Т ₃
Сталь	8–20	Сырая	(П,С,М), (1-3), Т ₁
	20–70	Сырая	(П,С), (1-3), Т ₁ -Т ₃
	Более 70	Сырая	П, (1-3), Т ₁
Сталь	8	Сухая	(ПСМ), (1-3), Т ₁
Чавун	8	Сухая	(ПСМ), (1-3), Т ₁

Частина з них має спеціальне призначення, наприклад, для отримання тонких виливків відповідального призначення, пустотілих виливків складної конфігурації і т. П. Проте, цей метод вже вважається застарілим через свою низьку економічність та фактори, що виникають в процесі виробництва. Так, основними недоліками окресленої технології є високий відсоток браку внаслідок обсіпання формувальної суміші, висока вірогідність розкришування при механічному впливі на ливарну форму, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху, неекономічність і потреба додаткової обробки для циліндричних деталей з порожнистими внутрішніми поверхнями.

Більш сучасним вважається застосування методів лиття в кокілі, що є більш економічним в плані матеріалу і простоти технологічного процесу, але більш затратним в плані матеріалу самого кокілю.

У ЧНУ імені Петра Могили проводяться дослідження структуроутворення та технології отримання поверхневих високоміцних структур з перемінною стійкістю. В рамках цієї тематики проводиться розробка матеріалів та конструкцій. Однією з перших розробок в окресленому проекті став спосіб виготовлення роз'ємного кокілю [1], із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану. Було визначено ряд недоліків існуючих технологій виробництва даного матеріалу з застосуванням наповнювача 4,7 % $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$ (корунд). У рамках нашої роботи також було розроблено схему кришки для кокілю з жаростійким тепло ізолюючим шаром.

Основною відмінністю нашого дослідження від попередніх є повна відмова від застосування титанової губки як основи для теплоізолюючого футерування кокілю. Розробка керамічного ізолюючого матеріалу є спробою поєднати основні переваги методу лиття в піщано-глинисті форми, зокрема дешевизни форми, з простотою та економічністю лиття в кокілі.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є удосконалення конструкції кокілю відцентрованого лиття за рахунок використання дешевих керамічних вкладок виготовлених з вторсировини в зонах контакту кокілю з розплавом.

Постановка завдання. Для вирішення окресленої проблеми було сформульовано ряд завдань:

- Визначити основні переваги та недоліки лиття у піщано-глинисті форми та кокілі.
- Розробити метод подовження терміну експлуатації кокілю за рахунок матеріалів, що застосовувались у формувальних сумішах.
- Провести апробацію розробленого методу через виготовлення дослідних зразків.

Виклад основного матеріалу. Використання в футеруванні кокілів порівняно дешевих елементів і їх хімічних сполук (оксидів, карбідів) відкриває нові можливості для досліджень [3].

Прикладом конструктивного методу підвищення стійкості чавунних кокілів, які працюють в умовах підвищених температур і частих тепловзмін, є змінні вставки, якими покривають всю робочу поверхню кокілю або найбільш руйнуються її частини. Такі вставки сильно знижують термічні і фазові напруги в матеріалі кокілю, що зменшує його викривлення і підвищує стійкість. Застосування таких вставок істотно знижує вартість і трудомісткість ремонту кокілю.

Руйнування кокілю відбувається по робочій поверхні нерівномірно. Швидше і раніше руйнуються частини, що контактують з розплавом. Тому їх доцільно облицювати вставками з матеріалу з більш високою термостійкістю і більш низькою теплопровідністю.

Мета проведеної роботи полягає в заміні чавунних форм на пресовані титанові для відливання гільз циліндрів у рознімних металевих кокілях. Виготовлення масивних вкладок з титанової губки – складна технологічна задача. Тому запропоновано використовувати лише вставні оболонки, що безпосередньо контактують з рідким металом. Однак в цьому випадку необхідно більш ретельно розраховувати можливі зміни геометричних розмірів вставки внаслідок відмінності коефіцієнтів теплового розширення матеріалів.

Однак з огляду на різницю робочих температур титанової вставки і чавунного корпусу кокілю, вирішено здійснювати посадку деталей з натягом. Це забезпечує надійну роботу комбінованого кокілю, виключає поворот вставки і унеможливорює заливання

металу у внутрішні порожнини.

З вихідних заготовок (довжина – 500 мм, зовнішній діаметр – 120 мм, внутрішній діаметр – 80 мм) виготовлені вставки кокілів для гільз двигунів МТ і К125. Середня товщина стінок вставок відповідно 10 мм і 15 мм.

Внутрішня поверхня вставок експериментальних кокілів була схильна до ізоtermічної витримки на повітрі при температурі 600 ... 700 ° С протягом 2 годин. У результаті цього зони, що безпосередньо

контактують з розплавом й наситилися киснем, азотом, воднем, з утворенням стійких сполук. Хімічний аналіз показав, що на поверхні переважає шар діоксиду титану (TiO_2) товщиною 0,5 ... 2 мм. Ця технологія простіша в порівнянні з нанесенням карбіду титану (TiC), більш прийнятна в умовах серійного виробництва.

Для установки «Ротоліт», на якій проводиться вилівок гільз циліндрів дизелів в роз'ємні форми, був розроблений комбінований кокіль (рис. 4.10).

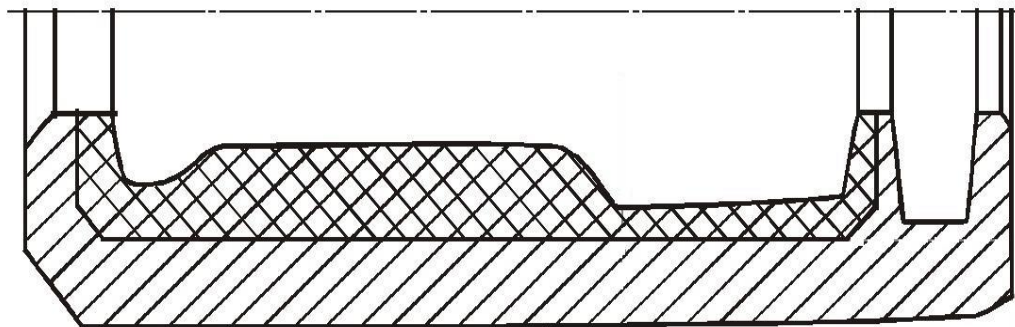


Рис. 1. Ескіз комбінованого кокілю для установки «Ротоліт»

У цьому випадку титанова вставка містилася в корпус чавунної напівформи. Розроблена конструкція вимагає більш жорсткої фіксації вставки і ретельної обробки посадочних поверхонь. У цьому випадку особлива увага приділялася збереженню геометричних розмірів кокілю в результаті дії теплових змін.

У нашому дослідженні було здійснено спробу поєднати результати вказаних вище дослідів з перспективною з точки зору дешевизни вихідної сировини для футерування конструкції.

Було обрано три основних шляхи створення жаростійкої кераміки з вторинної сировини. Першим і найперспективнішим шляхом став метод застосування червоного бокситного шламу в суміші з силікатною керамічною матрицею, що грала роль пластифікатора.

Основою для цієї методики стало дослідження для розширення номенклатури активаторів застигання, що проводилось на МГЗ авторами [4] суміш рідкого скла з відходом глиноземного виробництва – червоним шламом опробувана в якості комплексного активатора

У цьому випадку червоний шлам виступає не тільки як лужний активатор, а і як фактор, що сприяє

утворенню алюмоферитів кальцію. Оскільки рН червоного шламу коливається від 10 до 13, то він не здатен в результаті протонування зв'язків O-Ca-S забезпечити достатнє руйнування поверхні зерен шламу та утворення гідросилікату кальцію.

Комплексне використання червоного шламу з рідким склом призводить до інтенсивного кристалічного руйнування зерен шламу та протонуванню зв'язків Me-O-Me, Si-O-Me, Si-O-Al за рахунок високої концентрації йонів OH⁻ в розчині. Одночасно відбувається спонтанне тидоксилювання поверхні мінералів в місцях розриву зв'язків перехід в рочин Ca- та Ca(OH)⁺, гідроксилованих блоків структурних елементів шламу. Це призводить до збільшення кількості гідросилікатів кальцію в контактних зонах та підвищення міцності в'язучої добавки.

Дослідження [5] проведене з використанням гранульованого шлаку з вмістом CaO – 46-47%, SiO₂ – 27,2-27,5 %, Al₂O₃ – 7-8 %, рідкого скла з силікатним модулем 2,7 та густиною 1,4г/см³, червоний шлам МГЗ показало, міцність в'язучого в 30-35МПа при витратах рідкого скла 10-15%, що достатньо для отримання міцних стінових матеріалів (табл. 2).

Таблиця 2

В'язучі з червоним шламом		
Вміст пластифікатора (рідкого скла), %	Коефіцієнт викривлення, МПа	Міцність в'язучого, МПа
5	2,8	19,2
10	2,1	30
15	2,4	35
20	2,7	18,3
48		

У нашому дослідженні червоний шлам було спресовано з рідким склом при тиску 10 тонн. Утворений матеріал мав досить міцну структуру керамічного типу і був направлений в трьох екземплярах на спікання в муфельній печі (при доступі повітря і температурі 600 ... 700 °C протягом 2 годин), у муфельній печі (аналогічно але з домішками в кераміці торфу) і в вакуумній печі (при температурі 1100 °C в вакуумі). Отримані зразки 1 і 2 мали вигляд пористої структури білого кольору схожої властивостями на піноблок, але через певний проміжок часу (не більше 3 днів) відбулось повне руйнування зразка 1 і часткове руйнування

зразка 2 що продемонструвало правильність використання процесу полімеризації торфу на початковому етапі спікання як способу зміцнення зв'язків в керамічному композиті, але і недостатність даного підходу для утворення дійсно міцного зв'язку. В той же час зразок з вакуумної печі ще проходить обробку.

Другим підходом щодо формування жаростійкої кераміки з вторинної сировини було застосування відходів шліфування металів корундом, що на 80–90 % становить шліфувальний крупнозернистий Al_2O_3 корунд (Рис. 2).

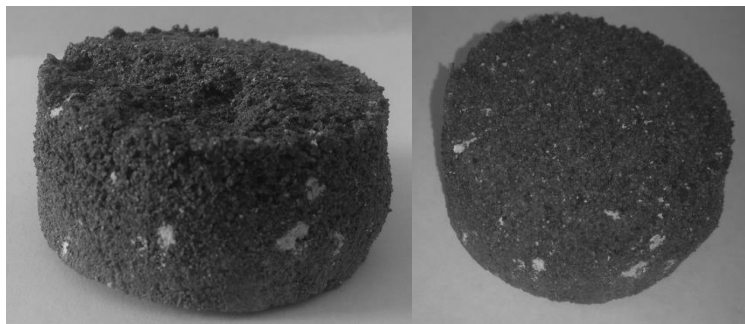


Рис. 2. Керамічний матеріал на основі шліфувального корунду

Зафіксовано роздування зразка за рахунок теплового розширення, що вимагає використання крім пластифікатора у вигляді рідкого скла, додаткових армуючих або формувальних домішок.

Оскільки основою для розроблюваної футерувальної вкладки має стати склад формувальних сумішей для піщано-глинистих форм, варто розглянути процес їх формування саме на основі рідкого скла, що ми використовуємо у якості матриці. Формувальні суміші з рідким склом, що застигають під дією діоксиду вуглецю, Двокальцієвого силікату або порошкоподібною ферросиліцію, не мають достатньої міцності в сирому стані (видно від кришених до моменту спікання фрагмент на рис 2). Виняток становлять суміші з добавками глинистих пластифікаторів та зв'язуючих. Висока плинність суміші (відсутність міцності по-сирому), однак, не вважається недоліком, тому що такі суміші вимагають мінімальної витрати енергії при ущільненні форм або при виготовленні складних стрижнів піскоструйним процесом.

У порівнянні з зв'язуючим, що твердіє в результаті окислення або полімеризації (масла, смоли), суміші з рідким склом мають більш низькою міцністю після затвердіння. Це, однак, при продуманій технології виготовлення форм і стрижнів не завжди є перешкодою.

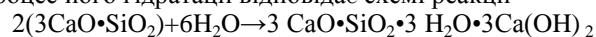
Відповідно для виправлення недоліків окреслених композицій варто звернути увагу на два основних шляхи: армування структури металічними включеннями, або навіть металічною матрицею (повернення до попереднього етапу, але використання не шламу як домішки до титанової губки а титанової губки як домішки до шламу) та зв'язування компонентів в полімерній або іншому типі керамічної – бетоноутворюючій матриці. З цементів, що застосовуються в ливарному виробництві, слід назвати портландцемент низьких і середніх марок - ПЦ 300 і ПЦ 400. До складу цементів входять кальцій силікат $3CaO \cdot SiO_2$ (аліт),

двохкальцієвий силікат $2CaO \cdot SiO_2$ (беліт), кальцій алюмінат $3CaO \cdot Al_2O_3$ чотири кальцій алюмоферит $4CaO \cdot$

$Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$.

Застигання портландцементу при розчиненні водою пов'язано з гідратацією і утворенням кристалічного зростка кальцієвих і кальцієво-алюмінатних гідросилікатів. Цемент отримують шляхом випалу подрібнених порід вапняку, глини та інших мінералів при температурі 1300 ... 1450 °C.

Одержуваний клінкер розмелюють з введенням гіпсу та інших добавок. Основним мінералом, що визначає міцність цементних сумішей, є кальцій силікат. Процес його гідратації відповідає схемі реакції



Причина формування міцності цементних сумішей – утворення гелю в цементі шляхом гідратації з подальшим зменшенням кількості води. Утворені гідрати випадають з насиченого розчину і відбувається процес їх зрощення (полімеризації) протягом всього часу формування міцності. Час твердіння від 24 до 72 годин. Після витримки 4 ч міцність становить 0,10...0,15 Н/мм².

Характеристикою портландцементу є глиноземний модуль - відношення:

$$M_{гг.} = Al_2O_3 / Fe_2O_3 > 1,2.$$

Аналогічно для рідкого скла основною характеристикою є силікатний модуль $M = 10323 A / B$, де M – силікатний модуль; A – вміст кремнезему в процентах; B – вміст оксиду натрію у відсотках; 10323 – відношення молекулярної маси оксиду натрію до молекулярної маси кремнезему. Таким чином третій зразок містив суміш дрібнодисперсного корунду з дрібнодисперсною титановою губкою (рис. 3) та утворив ізолюючий матеріал, що має властивості, які значно простіше контролювати ніж попередні пористі структури.



Рис. 3. Ізольуючий матеріал з титанової губки та Al_2O_3

Використання в даній суміші добавки у вигляді рідкого скла оптимізувало процес формування жаростійкої кераміки за рахунок утворення аморфної сполуки $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ що при подальшому нагріванні до 1100°C утворювало міцні кристалосилікати і в суміші з титановою губкою перетворювалась на каменеподібний черепок підвищеної міцності та жаростійкості з водопоглиненням менше 5 %.

Висновки. Проведені дослідження доводять, що існує два основних методи створення порожнистих циліндричних відливків: лиття в кокіль та в піщано-глинисту форму. Серійне використання кокілів передбачає доцільність застосування при обсягах більше 500 відливків. Основною проблемою є термічна корозія поверхні металу, що викликає деформацію та руйнування в зонах контакту кокілів з розплавом. Для подовження терміну експлуатації доцільно застосовувати футерування різних типів. В результаті проведених досліджень було обґрунтовано доцільність використання змінних керамічних вкладок на основі вторсировини у вигляді червоного бокситного шламу та відходів шліфування металу. Основою даної ідеї стало використання матеріалів, що застосовують для формування піщано-глинистих форм у виробництві футерувальних вставок з використанням металічної

матриці з рутилом (металокераміка) та без (кераміка). Ефективність їх використання підвищено за рахунок використання керамічної матриці у вигляді рідкого скла та армування наповнювачами.

Отже, розроблена методка формування керамічних футерувальних композитних матеріалів на основі відходів промислового виробництва металів та металевих виробів дозволить:

- суттєво знизити утворення відходів через зношування кокілів за рахунок продовження терміну їх експлуатації.

- здешевити технологію виробництва пористих термостійких ізоляторів за рахунок використання матеріалів, що застосовувались при виробництві одноразових піщано-глинистих форм за рахунок багатократного використання керамічних композитів на основі цих матеріалів

- знизити забрудненість повітря в виробничих цехах за рахунок технології вологого замішування в рідкому склі.

- знайти додатковий метод для утилізації червоного шламу та відходів шліфовки металів (керамічні черепки після металізації при експлуатації в кокілі і руйнування внаслідок зношування, можуть бути використані як будматеріал).

ЛІТЕРАТУРА

1. Декларативний 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. Е. О. Спорягін, К. Є. 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. Активация компонентов цементно-зоольных композиций лужными відходами глиноземного виробництва / В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький // Вісн. Вінниць. політехн. ін-ту. — 2006. — № 4. — С. 5–19. — Бібліогр.: 15 назв. — укр.
5. Авторське свідоцтво СРСР №1539182, С04В 28/06, 7/00, 1990. Вяжуче
6. Патент США № 4,432,795, МПК С22С 14/00, Бюл. ІСМ №10, 1984
7. Мороз І. І. Фарфор, фаянс, майоліка. — К. : Техніка, 1975. — 352 с.
8. Канаев В. К. Новая технология строительной керамики. — М. : Стройиздат, 1990. — 264 с.
9. ДСТУ БВ.2.7-117-2002 Будівельні матеріали. Плитки керамічні для підлог. Технічні умови. — К. : Держкоммістобудування України, 2002. — 10 с.
10. ДСТУ БВ.2.7-60-97 Будівельні матеріали. Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів. Класифікація. — К. : Держкоммістобудування України, 1997. — 6 с.
11. Губіна В. Г., Кадошніков В. М. Червоний шлам Миколаївського глиноземного заводу — цінна техногенна сировина // Есо Green Line proeco.visti.net від 24.07.2013
12. Добровольская Т.И. Техногенные минералы в глиноземном производстве/ Техногенные россыпи. Проблемы. Решения. Труды 1-й Международной научно-практической конференции // Сімферополь, 2000.— С. 55–59.
13. Клименко Л. П. Ресурсодвигателей внутреннего сгорания и пути его повышения / Клименко Л. П. Прищепов О.Ф. Андреев В.И. // видання ЧДУ імені Петра Могили. — Миколаїв, 2015 — 196 с. — ISBN 966-7458-27-x

14. Павел Лавринев Керамические изделия на основе красных бокситовых шламов Николаевского глиноземного завода «Русал» / Лавринев П. Г., Случак О. И., Олейник О. // Матеріали проблемного науково-методичного семінару і магістерських читань. Питання удосконалення змісту і методики викладання фізики у вищій школі. Випуск 20. – Видання МНУ ім. В. О. Сухомлинського, – Миколаїв, 2014. – 96с.

Рецензент:

Прищепов О. Ф., канд. техн. наук, доцент.

Дата надходження статті до редколегії 2.11.2016