

Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”

Анголенко Людмила Олександрівна

УДК 666.762.8:666.762.11

**МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЇ $Al_2O_3-SiC-C$
ДЛЯ СТАЛЕРОЗЛИВНИХ СТАКАНІВ З
ПІДВИЩЕНОЮ СТІЙКІСТЮ ДО ОКИСНЕННЯ**

05.17.11 – Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків - 2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти й науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Семченко Галина Дмитрівна
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Ситник Римма Дмитрівна
Національний технічний університет
“Харківський політехнічний інститут”, м. Харків,
професор кафедри органічної хімії, біохімії і мікробіології

кандидат технічних наук
Казначесва Наталія Михайлівна
ВАТ “УкрНДІВ імені А.С. Бережного”, м. Харків,
в. о. зав. лабораторією технології виробництва та
застосування легковагих вогнетривів, теплоізоляційних
волокнистих матеріалів, виробів та теплоізоляційних бетонів

Захист відбудеться 15.11.2007 р. о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.03 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розіслано 09.10.2007 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Шабанова Г.М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Потреба сучасного металургійного виробництва у нових вогнетривких матеріалах, що здатні працювати в умовах інтенсивних термомеханічних навантажень, передбачує використання для цих цілей графітовмісних матеріалів, у тому числі – корундографітових. Вимоги до якості й експлуатаційних характеристик виробів, що використовуються для розливки сталі, викликають необхідність створення нових складів сталерозливних стаканів, здатних забезпечити високі експлуатаційні показники, і в першу чергу, стійкість до окиснення. Це досягається добавкою карбиду кремнію, що є найбільш перспективним при виготовленні високоякісних матеріалів системи $Al_2O_3 - C$ завдяки комплексу його фізико-механічних властивостей – високій хімічній, корозійній, ерозійній та термічній стійкості, механічній міцності, а також антиоксидантним властивостям.

Високощільні корундографітові матеріали, що містять карбід кремнію, одержують за технологією ізостатичного пресування. Через дорожнечу устаткування застосування ізостатичного пресування поки обмежено. Одержання високощільних матеріалів системи $Al_2O_3 - SiC - C$ досягається шляхом рідкофазного спікання з використанням добавок, що, крім ролі спікаючих, виконують функції антиоксидантів-інгібіторів окиснення графіту.

Вивчення фазових взаємодій у композиції $Al_2O_3 - SiC - C - Al - Si - (NaPO_3)_n$, дослідження захисної дії як комплексної антиоксидантної добавки, що складається зі суміші алюмінієвої пудри, кремнію металевого, поліфосфату натрію і золь-гельного зв'язуючого, та розробка на цій основі корундографітових матеріалів, що містять муліт та β -SiC, що сприяє підвищенню щільності та міцності, та склов'язку, яка створює обмазку типу глазурі та перешкоджає вигорянню графіту, є актуальною з точки зору створення конкурентно-спроможної технології матеріалів для часткової заміни коштовних та переважно імпортованих пресованих виробів та неформованих вогнетривів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках науково-дослідної тематики кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ “ХПІ”, спрямованої на створення композиційних матеріалів з високими експлуатаційними характеристиками, у тому числі стійких до окиснення та дії шлаків. Здобувач був виконавцем окремих розділів держбюджетних тем МОН України: “Розробка теоретичних основ отримання конструкційних матеріалів та технічної кераміки системи $MgO-Al_2O_3-SiO_2-ZrO_2$ заданої структури і властивостей при об'єднанні принципів нетрадиційних методів синтезу, в тому числі золь-гель метода, з механохімією” (Д.Р. №0100U001078), “Розробка теоретичних основ самоорганізації структур і синтезу нанорозмірних новоутворень у матеріалах системи $Al_2O_3-MgO-SiO_2-ZrO_2-Y_2O_3-NiO-C-SiC-Si_3N_4-B_4C-BN$ ”, (Д.Р. №0103U001529), “Розробка теоретичних основ синтезу нанорозмірних новоутворень в композиційних матеріалах із заданою структурою композицій $Al_2O_3-MgO-SiO_2-ZrO_2-C-SiC-Si_3N_4$ ” (Д.Р. №0106U001506).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка технології корундографітових карбідкремнійвмісних вогнетривів для сталерозливних стаканів, які виготовляються з використанням комплексного антиоксиданту та етилсилікатного зв'язуючого, з ефективною захисною дією від окиснення та шлакороз'їдання.

Для досягнення поставленої мети передбачалося рішення наступних задач:

- дослідити послідовність фазових перетворень у системі Al – O – C;
- дослідити ефективність використання карбіду кремнію в якості антиоксидантної добавки в корундографітових матеріалах і установити вплив технологічних факторів та оптимального співвідношення компонентів суміші “електрокорунд – карбід кремнію – графіт” на досягнення високих фізико-механічних властивостей і стійкості до окиснення;
- теоретично обґрунтувати вибір антиоксидантних добавок, установити їх оптимальну кількість, а також дослідити властивості модифікованих різними антиоксидантами корундографітових вогнетривів, що містять карбід кремнію;
- встановити вплив антиоксидантних добавок на спікання, структуру і фазовий склад корундографітових вогнетривів, що містять карбід кремнію;
- дослідити вплив складу антиоксидантних добавок на окиснення корундографітових вогнетривів, що містять карбід кремнію, та їх стійкість до шлаку;
- провести дослідно-експериментальні іспити розроблених модифікованих корундографітових карбідкремнійвмісних вогнетривів, показати їх надійність і можливість використання для виробництва сталерозливних стаканів.

Об'єкт дослідження – технологія одержання зносостійких корундографітових карбідкремнійвмісних матеріалів.

Предмет дослідження – фізико-хімічні властивості корундографітових карбідкремній-вмісних матеріалів, їх шлакостійкість і стійкість до окиснення.

Методи досліджень. Фізико-механічні властивості (щільність, пористість, міцність, температуру початку деформації під навантаженням), експлуатаційні та захисні властивості корундографітових карбідкремнійвмісних матеріалів визначали відповідно до вимог діючих ДСТУ. Для прогнозування імовірності утворення сполук в матеріалах в процесі їх термообробки використовували термодинамічний метод досліджень з використанням ЕОМ. Структура та фазовий склад матеріалів визначалися за допомогою рентгенофазового, петрографічного, електронно-мікроскопічного аналізів. Для оптимізації складів і режимів термообробки матеріалів використовувалися статистичні методи планування експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Встановлено ступінь впливу кількості карбіду кремнію, графіту і тиску пресування на фізико-механічні властивості корундографітових вогнетривів з застосуванням математичного планування експерименту – методу латинського квадрата;

- Встановлено можливість одержання щільних корундографітових вогнетривів з добавкою комплексного антиоксиданту – суміші кремнію, алюмінію, поліфосфату натрію, що вводяться в кількості 1–10 мас. %, разом з 10 мас. % гідролізату етилсилікату, для виготовлення матеріалу $Al_2O_3 - SiC - C$ для сталерозливних стаканів з введенням до складу 5–20 мас. % карбїду кремнію;
- Дослідженнями процесів фазо- та структуроутворення в корундографітових вогнетривах, що містять карбїд кремнію, на етилсилікатному зв'язуючому встановлено, що введення антиоксидантів Al + Si сумісно з поліфосфатом натрію в шихту сприяє утворенню в них розплаву, армованого мулітом, що активує спікання матеріалу та, покриваючи луски графіту, захищає його від окиснення. Найбільш раціональним є використання 2,5 мас. % добавки Al + Si сумісно з 2,5 мас. % фосфатної добавки при 5 мас. % SiC та 2,5 мас. % добавки Al + Si сумісно з 5 мас. % фосфатної добавки при 20 мас. % SiC в складі матеріалу, що забезпечує достатньо високий рівень міцності при стисненні і високу стійкість до дії шлаків та окиснення і сприяє синтезу нанорозмірного β -SiC навколо лусок графіту;
- На підставі дослідження впливу коефіцієнту $K_{SiC/C}$ на ступінь окиснення матеріалу композиції $Al_2O_3 - SiC - C - ETC - Al - Si$ – фосфатна добавка встановлено, що для одержання щільних корундографітокарбїдкремнієвих вогнетривів необхідно вводити від 5 до 20 мас. % SiC при співвідношенні SiC/C більше 3:1 для найбільш щільної упаковки шихти при виготовленні матеріалу методом пресування або трамбування.

Практичне значення отриманих результатів. На підставі розроблених наукових положень та отриманих експериментальних даних запропоновано маси і технологічні параметри виготовлення корундографітових карбїдкремнієвих вогнетривів для розливки сталі на етилсилікатному зв'язуючому з комплексною антиоксидантною добавкою, що включає Al, Si та поліфосфат натрію, яка сприяє підвищенню шлакостійкості і стійкості до окиснення.

Для виготовлення сталерозливних стаканів методом напівсухого пресування рекомендовано розроблені оптимальні склади. Експериментальну партію сталерозливних стаканів виготовлено на ВАТ “Кондрат’ївський вогнетривкий завод” (м. Дружковка), що за результатами дослідження експлуатаційних характеристик експериментальних зразків із модифікованих корундографітових стаканів комплексним антиоксидантом, підтверджує доцільність і перспективність використання запропонованої технології для виготовлення корундографітових матеріалів, які на 20–35 % перевищують показники фізико-механічних властивостей виробів базового варіанту.

Результати досліджень, приведених в дисертаційній роботі, впроваджено в навчальний процес при підготовці бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальністю 091606 “Хімічна технологія тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів” на кафедрі технології кераміки, вогнетривів, скла та емалюй НТУ “ХП”.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати, викладені в дисертації та винесені на захист, отримано особисто здобувачем. Серед них: постановка задачі досліджень та

забезпечення її реалізації; участь у плануванні та проведенні теоретичних та експериментальних досліджень; аналіз та інтерпретація отриманих результатів; узагальнення отриманої інформації та формулювання висновків; участь у проведенні промислових випробувань та впровадженні оптимальних складів корундографітових сталерозливних стаканів в промисловість.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи доповідалися здобувачем на Міжнародних науково-технічних конференціях: II наукових читаннях імені академіка НАН України А.С. Бережного “Фізико-хімічні проблеми керамічного матеріалознавства” (м. Харків, 2004 р.); XII, XIII Міжнародних науково-практичних конференціях “Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров’я” (м. Харків, 2004, 2005 р.р.); XII, XIII, XIV Міжнародних науково-технічних конференціях “Теорія і практика процесів подрібнення, розподілу, змішування та ущільнення” (м. Одеса, 2004–2006 р.р.); “Технологія і застосування вогнетривів і технічної кераміки в промисловості” (м. Харків, 2005, 2006 р.р.), науково-технічній конференції “Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів” (м. Дніпропетровськ, 2006 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 11 роботах, серед них 8 статей у фахових виданнях ВАК України.

Структура та об’єм роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, 2 додатків. Повний обсяг дисертації складає 180 сторінок; 26 ілюстрацій по тексту, 18 ілюстрацій на 10 сторінках; 26 таблиць по тексту, 5 таблиць на 4 сторінках; 2 додатка на 4 сторінках; 357 найменувань використаних літературних джерел на 39 сторінках.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито суть та стан наукової проблеми, обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи, показано зв’язок роботи з науковими програмами, надано рекомендації зі застосування матеріалів дисертації, показано особистий внесок здобувача, наведено відомості про апробацію результатів роботи, публікації та структуру дисертації.

У першому розділі наведено аналітичний огляд літературних даних зі стану та основних напрямків розвитку промисловості графітвмісних вогнетривів, асортименту продукції та галузей застосування корундографітових вогнетривів, а також фізико-механічних властивостей композиційних матеріалів на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$. Показано, що корундографітові вогнетриви знайшли широке застосування як заглибні, розливні та стакани-дозатори. Розглянуто процес вигоряння графіту та методи захисту графітвмісних матеріалів від окиснення. Виявлено, що карбід кремнію, алюмінієва пудра, кремній металевий та поліфосфат натрію можуть застосовуватись сумісно як антиоксидантні добавки в складі композиційних корундографітових матеріалів.

Показано, що матеріали системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ порівняно з вогнетривом $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{C}$ можуть мати вищий рівень службових характеристик, особливо стійкості до окиснення, тому розробка корундографітокарбідкремнієвих матеріалів композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C} - \text{Al} - \text{Si}$ – фосфатна добавка, призначених для виготовлення виробів для розливки сталі, є актуальною.

У другому розділі викладено методики досліджень, наведено характеристики вихідної сировини та об'єктів дослідження. Зразки системи $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ були отримані методом напівсухого пресування та випалом у відновлюваному середовищі при температурі 1723 К. Як зв'язуюче обрано гідролізат етилсилікату марки ЕТС–32. При виконанні роботи застосовувався метод латинського квадрату для виявлення найбільш вагомого фактора, який визначає характер залежності “склад–технологічний параметр–властивість”.

На отриманих зразках композитів визначались фізико-механічні, корозійні властивості та стійкість до окиснення.

Фазовий аналіз проводили на рентгенівському дифрактометрі ДРОН–3М. Ідентифікація порошкових рентгенограм здійснювалась на базі картотеки Міжнародного Центру Дифракційних Даних (JCPDS–ICDD). Дослідження мікроструктури виконували на поляризаційному мікроскопі МИН–8 та універсальному мікроскопі Nu–2Е. Термогравіметричний аналіз мас виконували на дериватографі ОД–103 системи “Паулік, Паулік та Ердей” при температурах від 293 до 1273 К. Фізико-механічні властивості оцінювали за стандартними методиками, шлакостійкість – тигельним методом порівняльної оцінки шлакостійкості вогнетривів.

У третьому розділі розглянуто фізико-хімічні основи отримання композиційних $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ матеріалів, механізм взаємодії оксиду алюмінію з вуглецем, синтез глиноземистої шпінелі в потрійній системі $\text{Al} - \text{O} - \text{C}$, особливості карботермічного відновлення оксидів алюмінію та кремнію.

Досліджено, що в системі $\text{Al} - \text{O} - \text{C}$ можливе утворення наступних газоподібних і конденсованих сполук: атомарного алюмінію, субоксидів Al_2O , Al_2O_2 , AlO_2 , AlO ; оксидів вуглецю CO , CO_2 , C_2O_3 ; атомарного і молекулярного вуглецю C , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 ; атомарного і молекулярного кисню O , O_2 , O_3 ; оксиду алюмінію Al_2O_3 , карбиду алюмінію Al_4C_3 , тетраоксикарбиду алюмінію $\text{Al}_4\text{O}_4\text{C}$, що має орторомбічну структуру, і гексагонального вюрцитоподібного монооксикарбиду алюмінію Al_2OC ; металевого алюмінію, конденсованого вуглецю і фази зі структурою глиноземистої шпінелі.

Доведено, що послідовність фазових перетворень в системі $\text{Al} - \text{O} - \text{C}$ залежить, насамперед, від складу і концентрації газової фази, а також від парціальних тисків компонентів газового середовища і протікає в послідовності: $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Al}_4\text{O}_4\text{C} \rightarrow \text{Al}_2\text{OC} \rightarrow \text{Al}_4\text{C}_3$.

Для моделювання й аналізу високотемпературних процесів утворення глиноземистої шпінелі було використано фрагмент діаграми стану системи Al – O – C без врахування подвійних сполук у бінарній системі Al – C та потрійних сполук у системі Al – O – C, у який графічно були представлені 12 можливих реакцій утворення Al_3O_4 (ТВ) за участю Al_2O_3 (ТВ) і Al_2O_3 (Г), Al_2O (Г), AlO (Г), C (ТВ), CO (Г) і CO_2 (Г) (рис. 1).

В табл. 1 наведено розраховані величини енергії Гіббса зазначених реакцій утворення глиноземистої шпінелі.

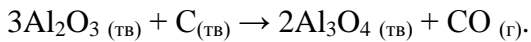
Таблиця 1

Реакції шпінелеутворення

№	Реакції утворення Al_3O_4 (ТВ)	$\Delta G_{p,T}$, кДж/моль при $p_i^* = 1$ ат, при $p_i = 1-10^{-30}$ ат
1.1	$6Al_2O_3$ (ТВ) + C (ТВ) \rightarrow $4Al_3O_4$ (ТВ) + CO_2 (Г)	$\Delta G_{p,T} = 1038,658 + RT \ln P_{CO_2}$
1.2	$6Al_2O_3$ (Г) + C (ТВ) \rightarrow $4Al_3O_4$ (ТВ) + CO_2 (Г)*	$\Delta G_{p,T} = -5243,239 - 6 \cdot RT \ln P_{Al_2O_3}$
2.1	$3Al_2O_3$ (ТВ) + C (ТВ) \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + CO (Г)	$\Delta G_{p,T} = 579,364 + RT \ln P_{CO}$
2.2	$3Al_2O_3$ (Г) + C (ТВ) \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + CO (Г)*	$\Delta G_{p,T} = -2561,608 - 3 \cdot RT \ln P_{Al_2O_3}$
3.1	$3Al_2O_3$ (ТВ) + CO (Г)* \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + CO_2 (Г)	$\Delta G_{p,T} = 459,294 + RT \ln P_{CO_2}$
3.2	$3Al_2O_3$ (Г) + CO (Г) \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + CO_2 (Г)	–
4	$3AlO$ (Г) + CO_2 (Г) \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + CO (Г)	–
5	$6Al_2O$ (Г) + $10CO_2$ (Г) \rightarrow $4Al_3O_4$ (ТВ) + $10CO$ (Г)	–
6.1	$3Al$ (ТВ) + $4CO_2$ (Г)* \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $4CO$ (Г)	$\Delta G_{p,T} = -986,272 + 4 \cdot RT \ln P_{CO}$
6.2	$3Al$ (Г) + $4CO_2$ (Г) \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $4CO$ (Г)	–
7	$6AlO$ (Г) + CO_2 (Г)* \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + C (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -3854,543 - 6 \cdot RT \ln P_{AlO}$
8	$3AlO$ (Г) + CO (Г)* \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + C (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -1987,307 - 3 \cdot RT \ln P_{AlO}$
9	$6Al_2O$ (Г) + $5CO_2$ (Г)* \rightarrow $4Al_3O_4$ (ТВ) + $5C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -5425,122 - 6 \cdot RT \ln P_{Al_2O}$
10.1	$3Al$ (ТВ) + $2CO_2$ (Г) \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $2C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -1226,483 - 2 \cdot RT \ln P_{CO_2}$
10.2	$3Al$ (Г) + $2CO_2$ (Г)* \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $2C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -2093,784 - 3 \cdot RT \ln P_{Al}$
11	$3Al_2O$ (Г) + $5CO$ (Г)* \rightarrow $2Al_3O_4$ (ТВ) + $5C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -3012,738 - 3 \cdot RT \ln P_{Al_2O}$
12.1	$3Al$ (ТВ) + $4CO$ (Г) \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $4C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -1466,554 - 4 \cdot RT \ln P_{CO}$
12.2	$3Al$ (Г) + $4CO$ (Г)* \rightarrow Al_3O_4 (ТВ) + $4C$ (ТВ)	$\Delta G_{p,T} = -2333,925 - 3 \cdot RT \ln P_{Al}$

Рис. 1. Реакції утворення Al_3O_4 у системі Al – O – C

Утворення глиноземистої шпінелі найбільше ймовірно за реакцією



Для неї була розрахована вільна енергія Гіббса при різних парціальних тисках газоподібного продукту CO у температурному інтервалі 1000–1800 К. Зі збільшенням температури і видаленні продукту взаємодії з реакційного об'єму, тобто при зменшенні значення P_{CO} від 10^{-20} до 10^{-30} ат, ймовірність синтезу фази зі структурою шпінелі зростає (рис. 2).

Рис. 2. Зміна енергії Гіббса реакції утворення глиноземистої шпінелі в залежності від парціального тиску оксиду вуглецю (II)

У четвертому розділі наведено результати дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ після випалу у відновлюваному та азотному середовищі.

Аналіз залежності уявної щільності від кількості карбіду кремнію, графіту і тиску пресування показав наступне: зі збільшенням вмісту SiC і C щільність зменшується і зростає з підвищенням тиску від 50 до 125 МПа (рис. 3).

Рис. 3. Залежність уявної щільності випалених у відновлювальному середовищі корундографіто-карбідокремнієвих матеріалів від кількості SiC, C та тиску пресування

Виявлення впливу тиску на міцність зразків підтверджує, що можливе отримання виробів з високими фізико-механічними властивостями методом напівсухого пресування для виготовлення стаканів. На рис. 4 представлено вплив кількості SiC (а) і графіту (б) на значення межі міцності на стиск і виявлено області їх оптимального вмісту: SiC = 5–20 мас. %, C = 5–15 мас. %. Збільшення кількості карбіду кремнію в діапазоні 20–50 мас. % і графіту в кількості 15 – 20 мас. % знижує механічну міцність до 20–40 МПа.

Рис. 4. Вплив кількості SiC (а) і графіту (б) на величину межі міцності на стиск

У даній роботі ступінь окиснення графіту оцінювали по втраті маси зразків після їх термообробки при 1073 К протягом 4 год. На основі отриманих даних розраховували величину інгібіруючого коефіцієнта (I_K), який показує, в скільки разів втрата ваги в досліджуваному зразку менше втрати ваги у зразку базового складу, де в якості базового приймали склад зі вмістом карбіду кремнію 5 мас. %.

Рис. 5. Залежності $I_k = f(W(\text{SiC}), \text{мас. \%})$

Залежність I_k від кількості SiC у шихті представлено на рис. 5. Аналіз залежностей свідчить про негативний вплив збільшення кількості карборунду на стійкість графіту до окиснення.

Поряд з оцінкою ступеня вигорання графіту було визначено зміну межі міцності на вигін ($\Delta\sigma_{\text{зг}}$) матеріалів після термообробки.

У даній роботі запропоновано оцінку стійкості до окиснення розроблених графітвмісних матеріалів за зміною їх міцнісних характеристик. Величина $\Delta\sigma_{\text{зг}}$ знаходилася в межах 0 – 26 % (рис. 6).

Рис. 6. Зміна міцності корундографітокарбідокремнієвих матеріалів в залежності від величини коефіцієнта $K_{\text{SiC/C}}$

Рентгенофазовий аналіз проб матеріалу підтвердив утворення муліту $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ після випалу матеріалу у відновлювальному середовищі. Як відомо, утворення голок муліту, що розподіляються по границях лусочок графіту і підсилюють зв'язок між вогнетривкими зернами наповнювача, сприяє ущільненню, зміцненню і підвищенню термостійкості матеріалу.



Вивчено структуру, фазовий склад і визначено фізико-механічні властивості модифікованих $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ матеріалів. Методом ДТА було досліджено вплив виду антиоксидантних добавок на величину втрати маси при нагріванні до 1273 К модифікованих корундографітових карбідокремнієвих матеріалів, що отримано на основі розроблених базових $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ -композицій (рис. 7). До складу базових шихт №9 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 90$ мас. %, $\text{SiC} = 5$ мас. %, $\text{C} = 5$ мас. %) і №14 ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 75$ мас. %, $\text{SiC} = 20$ мас. %, $\text{C} = 5$ мас. %) вводили в кількості 2,5 мас. % (понад 100 мас. %) антиоксиданти: алюмінієву пудру (1), кремній металевий (2), комплексний антиоксидант Al-Si (3), магнійорганічну речовину (4) і фосфатну добавку (5).

Рис. 7. Залежність втрати маси $\Delta m/m$ від температури для корундографітових SiC-вмісних матеріалів, модифікованих, відповідно: 1 – добавкою 1; 2 – добавкою 2; 3 – добавкою 3; 4 – добавкою 4; 5 – добавкою 5

Аналіз залежностей показує, що для всіх матеріалів в інтервалі температур 373–673 і 1073–1273 К спостерігається велика втрата маси за рахунок видалення залишкової вологи й окиснення графіту. Найменших змін маси можна досягти при введенні комплексної добавки 3. Максимальна втрата маси характерна для складу, що містить магнійорганічну речовину, що обумовлено видаленням хімічно зв'язаної води.

Після випалу в захисному відновлювальному середовищі при 1723 К та 1923 К модифікованих корундографітових матеріалів було визначено уявну щільність і межу міцності на стиск. Як видно з рис. 8 і 9, найбільш ефективними добавками, що сприяють ущільненню і зміцненню, є добавки 3 і 5.

Рис. 8. Значення уявної щільності модифікованих корундографітових карбідкремнійвмісних матеріалів, випалених при: а – 1723 К, б – 1923 К

Рис. 9. Межа міцності при стиску $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ матеріалів, випалених при:  – 1723 К,  – 1923 К: а – склади №14.1–14.5, б – склади №9.1 –9.5

При введенні комплексного антиоксиданту Al + Si у базовий склад №9, що містить мінімальну кількість карбіду кремнію, найбільшої щільності і міцності досягали при введенні 2,5 мас. % фосфатної добавки, що модифікує (рис. 10), а для складу №14 з великим вмістом SiC – при її введенні в кількості 5 мас. %.

Рентгенофазовий аналіз отриманих корундографітових вогнетривів (рис. 11) показав, що у всіх матеріалах присутні фази \bullet – SiC (карбід кремнію); \circ – SiO_2 і C; \blacktriangle – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (муліт); \blacksquare – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (корунд). У матеріалі, модифікованому введенням фосфатної добавки, ідентифіковано ортофосфат алюмінію AlPO_4 (\square – берлініт). Утворення AlPO_4 , як відомо, можливо при температурі ≥ 1073 К. Наявність кремнію й алюмінію в випалених матеріалах не встановлено, що вказує на антиокислювальну дію даних добавок за рахунок протікання реакцій з утворенням, відповідно, SiO_2 , SiC і Al_2O_3 , $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$.

Рис. 10. Залежність величини уявної щільності (а) і межі міцності на стиск (б) від кількості фосфатної добавки, що модифікує:
1 – склад №9; 2 – склад №9, кількість комплексного антиоксиданту Al + Si 2,5 мас. %;
3 – склад №14; 4 – склад №14 з комплексним антиоксидантом Al + Si 2,5 мас. %

У п'ятому розділі приведено результати дослідження кінетики окиснення корундографітових карбідкремнійвмісних вогнетривів.

До основних параметрів, що впливають на процес окиснення вуглецьвмісних матеріалів, відносяться тип реагенту (O_2 , H_2O , CO_2), температура окиснення і час термообробки. Окиснення протікає через хемосорбцію газоподібного реагенту, утворення і руйнування поверхневої сполуки, при цьому тільки частина поверхні бере участь у реакції. Крім того, у процесі служби вогнетривів протікають складні фізико-хімічні процеси утворення рідкої фази, зміни хімічного і фазового складу, а також структури вогнетривів, що істотно впливає на ступінь вигорання графіту.

Для встановлення ступеня впливу фосфатної добавки і комплексного антиоксиданту на термоокиснення, розроблені матеріали піддавали термообробці при 1073 К з ізотермічною витримкою протягом 1, 2, 3 і 4 год. На основі отриманих даних була розрахована константа швидкості реакції окиснення графіту при різному часі ізотермічної витримки і визначена її залежність як від кількості фосфатної добавки, так і від кількості фосфатної добавки в складі комплексного антиоксиданту (Al + Si + фосфатна добавка), що представлено на рис. 12 і 13.

За величиною константи можна судити про те, що збільшення кількості фосфатної добавки в складі комплексного антиоксиданту Al + Si + фосфатна добавка інгібує процес термоокиснення графіту в більшому ступені, ніж без введення Al + Si.

Рис. 11. Рентгенограми модифікованих $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ матеріалів на основі складу №14.

Фази: ● – SiC; ○ – SiO_2 і C; ▲ – $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$; ■ – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; □ – AlPO_4 ; 1 – добавка Si; 2 – добавка Al; 3 – добавка Si + Al; 4 – фосфатна добавка; 5 – Si + Al + фосфатна добавка

Рис. 12. Зміна константи швидкості реакції окиснення графіту в залежності від часу ізотермічної витримки при 1073 К та кількості фосфатної добавки

Рис. 13. Зміна константи швидкості реакції окиснення графіту в залежності від кількості фосфатної добавки (в складі комплексного антиоксиданту, що містить 2,5 мас. % добавки Al+Si)

В шостому розділі наведено результати дослідження шлакостійкості модифікованих корундографітових матеріалів. Встановлено, що потужність робочої зони зразків $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ без антиоксиданту Al+Si збільшується з ростом кількості фосфатної добавки. Оптимальною кількістю фосфатної добавки є 5 мас. % при вмісті в шихті вогнетриву 5 мас. % графіту і 20 мас. % SiC.

У сьомому розділі наведено результати дослідно-промислових випробувань в умовах ВАТ “Кондрат’ївський вогнетривкий завод” розроблених вогнетривких мас для виготовлення сталерозливних стаканів методом напівсухого пресування.

У додатках наведено акти випуску експериментальних дослідно-промислових партій та впровадження в виробництво мас для виготовлення сталерозливних стаканів.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання дисертаційної роботи вирішено науково-практичну задачу створення науково-обґрунтованої технології одержання щільних корундографітових карбідкремнійвмісних матеріалів з використанням різних антиоксидантних добавок, що забезпечують одержання стійких до окиснення матеріалів, та надано необхідні рекомендації з їх застосування в умовах виробництва.

1. Досліджено кінетику і механізм взаємодії оксиду алюмінію з вуглецем і вивчено послідовність фазових перетворень у системі Al – O – C; проведено термодинамічний аналіз реакцій шпінелеутворення в потрійній системі Al – O – C, та встановлено можливість синтезу фази зі структурою глиноземистої шпінелі в інтервалі температур 1273–1723 К.

2. Доведено ефективність використання карбіду кремнію в якості антиоксидантної добавки в корундографітових матеріалах та встановлено вплив вмісту карбіду кремнію і графіту, а також тиску пресування на уявну щільність і межу міцності на стиск, визначено оптимальний склад шихти з високими фізико-механічними властивостями: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 75\text{--}90$ мас. %, $\text{SiC} = 5\text{--}20$ мас. %, $\text{C} = 5$ мас. %. Показано, що зі збільшенням вмісту SiC і C щільність зменшується і, навпаки, зростає з підвищенням тиску пресування від 50 до 125 МПа в межах $2\text{--}2,5$ г/см³, механічна міцність при цьому знижується від 80 до 20 МПа.

Показано, що для досягнення високих фізико-механічних властивостей і стійкості до окиснення $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiC} - \text{C}$ матеріалів необхідне масове співвідношення карбіду кремнію і графіту більш 3:1. Встановлено, що з підвищенням кількості SiC у розроблених матеріалах більш 20 мас. % збільшується здатність до окиснення, на що вказує зменшення величини інгібіруючого коефіцієнта (I_k);

3. Встановлено можливість одержання стійких до окиснення модифікованих корундографітових карбідкремнійвмісних матеріалів з використанням різних антиоксидантних добавок у кількості 2,5 мас. % при температурах випалу 1723 К і 1923 К. Спікання матеріалів у відновлювальному середовищі підвищує щільність до 2,77 г/см³ і межу міцності на стиск 115 МПа. Показано, що найбільш ефективною для підвищення щільності є добавка полі фосфату натрію, а за величиною інгібіруючого коефіцієнта – добавка кремнію ($I_k = 1,27\text{--}1,35$) і комплексного антиоксиданту Si + Al ($I_k = 1,16 - 1,20$).

Визначено вплив кількості комплексного антиоксиданту, що вводиться, без і разом з фосфатною добавкою, що модифікує, у діапазоні 1–10 мас. % (понад 100 мас. %) на зміну величини уявної щільності і межі міцності на стиск. Показано, що введення комплексного антиоксиданту Si + Al ефективно в кількості 2,5–5 мас. %, а фосфатної добавки ≤ 5 мас. %. При цьому досягали щільності матеріалу 2,74 г/см³ і міцності до 132 МПа. При цьому при введенні

комплексного антиоксиданту Si + Al до складу, що містить мінімальну кількість карбїду кремнію, найбільшої щільності досягали при введенні 2,5 мас. % фосфатної добавки, що модифікує, а для складу з великим вмістом SiC – при її введенні в кількості 5 мас. %.

4. Рентгенофазовий аналіз корундографітових карбїдкремнійвмісних матеріалів на етилсилікатній зв'язці підтвердив утворення муліту в матеріалах після їх випалу у відновлювальному середовищі при 1723 К.

5. Встановлено, що введення комплексного антиоксиданту Si + Al + поліфосфат натрію разом з етилсилікатним зв'язуючим до складу корундографітового карбїдкремнійвмісного вогнетриву призводить до підвищення їх інгібіруючого коефіцієнта більш ніж у 2 рази.

Результати дослідження шлакостійкості показали, що матеріали є стійкими до дії кислих шлаків.

6. Дослідно-експериментальні іспити розроблених корундографітових карбїд-кремнійвмісних матеріалів на етилсилікатному зв'язуючому з добавкою комплексного антиоксиданту Si + Al та фосфатною добавкою показали високу стійкість до дії шлаку та до окиснення і можливість надійного використання їх для виробництва сталерозливних стаканів.

7. Результати роботи запроваджено на ВАТ “Кондрат’ївський вогнетривкий завод” (м. Дружковка), де випущено дослідно-промислову партію сталерозливних стаканів, які мають підвищену стійкість до окиснення та до дії шлаків, та в навчальний процес при підготовці бакалаврів, спеціалістів і магістрів за спеціальністю 091606 “Хімічна технологія тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів” в НТУ “ХП”.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Семченко Г.Д., Анголенко Л.А., Опрышко И.Н., Дуников А.В. Стойкие корундографитовые материалы для металлургии // Новые огнеупоры. – Москва: ООО “Интермет Инжиниринг”.– 2002. – №6. – С. 35–37.

Здобувачем запропоновано нові склади для виготовлення термостійких, стійких до окиснення корундографітових стаканів для розливки сталі.

2. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В., Слепченко О.М. Вибір складів мас з використанням методу латинського квадрату // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.– Харків: НТУ “ХП”. – 2004. – № 32. – С. 77 – 81.

Здобувачем встановлено зі застосуванням методу латинського квадрату вплив технологічних параметрів на властивості композиційних матеріалів композиції Al₂O₃–SiC–C.

3. Анголенко Л.О., Семченко Г.Д., Слепченко О.М., Тищенко С.В. Фазовий склад та структура матеріалів системи $Al_2O_3-SiC-C$ після випалу в різних середовищах // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004.– № 34. – С.83–88.

Здобувачем досліджено фізико-механічні властивості, фазовий склад і структура корундографітових карбідкремнієвих матеріалів, випалених у відновлювальному та азотному середовищі.

4. Анголенко Л.О., Семченко Г.Д., Слепченко О.М., Тищенко С.В., Сидоров В.М. Властивості карбідокремнієвих та матеріалів системи $Al_2O_3 - C - SiC$ після випалу в різних середовищах // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2004.– № 40. – С.7–9.

Здобувачем були встановлені оптимальні склади мас, досліджено вплив вмісту карбиду кремнію та графіту на міцнісні характеристики композитів та визначено оптимальний склад шихти з високими показниками властивостей.

5. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Виноградов В.Е., Тищенко С.В., Доронин Е.В. Методы защиты углеродсодержащих огнеупоров от окисления // Системы обработки информации. – Харків: Харківський університет ПС. – 2005. – Вип. 7 (47). – 17–20.

Здобувачем досліджено стійкість до окиснення корундографітових матеріалів як на основі базових складів композиції $Al_2O_3-SiC-C$, так і модифікованих різними антиоксидантними добавками.

6. Семченко Г.Д., Шутеева И.Ю., Слепченко О.Н., Анголенко Л.А. Защита графита и графитсодержащих материалов от окисления // Новые огнеупоры. – Москва: ООО “Интермет Инжиниринг”. – 2005. – №7. – С. 25–33.

Здобувачем наведено результати синтезу та комплексного дослідження розробленого покриття для ефективного захисту графіту від окиснення.

7. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В., Старолат Е.Е., Слюсарев Р.Б. Термомеханические свойства корундографитовых материалов с добавкой карбида кремния // Вісник Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2005. – №25. – С. 7–12.

Здобувачем було оцінено ступінь окиснення графіту за значенням втрати ваги при термообробці та визначено падіння міцності після прогартування корундографітових матеріалів.

8. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В., Старолат Е.Е. Термодинамический анализ реакций образования глиноземистой шпинели в тройной системе $Al - O - C$ // Збірник наукових праць ВАТ “УкрНДІВогнетривів імені А.С. Бережного”. – Харків: Каравелла, 2005. – №105. – С. 144–149.

Здобувачем проведено термодинамічний аналіз, що підтвердив утворення фази зі структурою глиноземистої шпінелі в потрійній системі Al – O – C.

9. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В. Физико–механические свойства модифицированных корундографитовых карбидкремнийсодержащих огнеупоров // Новые огнеупоры. – 2006. – Москва: ООО “Интермет Инжиниринг”.— № 4. – С. 28.

Здобувачем здійснено аналіз залежності уявної щільності і межі міцності на стиск від кількості антиоксидантної добавки Al–Si та Al–Si–фосфатна добавка.

10. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В. и др. Исследование влияния содержания антиоксидантных добавок на прочностные характеристики корундографитовых материалов / Тез. докл. Международной научно-технической конференции “Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности” : – Харьков: Каравелла, 2005. – С. 17–18.

Здобувачем досліджено вплив вмісту алюмінієвої пудри, кремнію металевого, комплексної добавки Al – Si та фосфатної добавки на міцність при стиску корундографітових карбідкремнійвмісних вогнетривів.

11. Анголенко Л.А., Семченко Г.Д., Тищенко С.В., Боровой В.В. Стойкость к окислению модифицированных корундографитовых карбидкремнийсодержащих огнеупоров // Тези доп. Укр. науково–техн. конф. “Фізико–хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих і силікатних матеріалів”. – Дніпропетровськ: УДХТУ. – 2006.– С. 86.

Здобувачем проведено фізико–хімічні дослідження і встановлено фази, які підвищують стійкість до окиснення та шлакостійкість.

АНОТАЦІЯ

Анголенко Л.О. Матеріали на основі композиції $Al_2O_3 - SiC - C$ для сталерозливних стаканів з підвищеною стійкістю до окиснення. - Рукопис.

Дисертація на здобуття ученого ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.17.11. Технологія тугоплавких неметалічних матеріалів. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2007.

Розроблено і досліджено матеріали композиції $Al_2O_3 - SiC - C$ зі вмістом 5–20 мас. % карбиду кремнію, отриманих методом напівсухого пресування з введенням 1–10 мас. % антиоксидантних добавок і з використанням у якості зв’язуючого гідролізатів етилсилікату. Проведено оптимізацію складів методом латинського квадрата. Установлено, що введення в $Al_2O_3 - SiC - C$ вогнетриви 2,5 – 5 мас. % антиоксидантної добавки Si + Al разом з ≤ 5 мас. % фосфатної добавки забезпечує високу стійкість до окиснення і дії шлаку. Значення уявної щільності і межі міцності при стиску зразків оптимального складу досягають відповідно 2,77

г/см³ і 132 МПа. Температура початку деформації під навантаженням складає 1873–1923 К. Вивчено кінетику і механізм високотемпературного окиснення модифікованих комплексним антиоксидантом корундографітових карбидкремнійвмісних матеріалів. Визначено корозійну стійкість Al₂O₃–SiC–C-матеріалів до дії кислих шлаків. Матеріал зі вмістом SiC у кількості 20 мас. % виявився найбільше корозійностійким при вмісті антиоксидантів до 5 мас. %, зі вмістом SiC у кількості 5 мас. % – всього 2,5 мас. % антиоксиданту. Вивчено фазовий склад і структуру вогнетриву. Дано рекомендації до застосування розроблених нових матеріалів системи Al₂O₃–SiC–C для виготовлення стаканів для розливки сталі.

Ключові слова: композиційні матеріали, корундографітовий вогнетрив, модифікуючі добавки, кінетика окиснення, фазовий склад, корозійна стійкість.

АННОТАЦИЯ

Анголенко Л.А. Материалы на основе композиции Al₂O₃ – SiC – C для сталеразливочных стаканов с повышенной стойкостью к окислению. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11. Технология тугоплавких неметаллических материалов. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2007.

Разработаны и исследованы материалы композиции Al₂O₃–SiC–C с содержанием 5–20 мас. % карбида кремния, полученных методом полусухого прессования с введением 1–10 мас. % антиоксидантных добавок и с использованием в качестве связующего гидролизатов этилсиликата. Проведена оптимизация составов методом латинского квадрата. Установлено, что введение в Al₂O₃–SiC–C огнеупоры 2,5–5 мас. % антиоксидантной добавки Si + Al совместно с ≤5 мас. % фосфатной добавки обеспечивает высокую стойкость к окислению и действию шлака при достаточно высоких физико-механических свойствах. Значения кажущейся плотности и предела прочности при сжатии образцов оптимального состава достигают соответственно 2,77 г/см³ и 132 МПа. Приведены исследования термомеханических свойств разработанных Al₂O₃–SiC–C материалов при температурах 1473 и 1673 К. Температура начала деформации под нагрузкой составляет 1873–1923 К. Изучена кинетика и механизм высокотемпературного окисления модифицированных комплексным антиоксидантом корундографитовых карбидкремнийсодержащих материалов. В процессе окисления материалов образуется пленка SiO₂, являющаяся защитным барьером для диффузии кислорода. Высокая стойкость к окислению разработанных корундографитовых SiC-содержащих материалов объясняется образованием стеклосвязки, армированной муллитом и выполняющей роль обмазки, защищающей графит от окисления. Определена коррозионная стойкость Al₂O₃–SiC–

С материалов к действию кислых шлаков. Материал с содержанием SiC в количестве 20 мас. % оказался наиболее коррозионностойким при содержании антиоксидантов до 5 мас. %, с содержанием SiC в количестве 5 мас. % – всего 2,5 мас. % антиоксиданта. Проведены исследования свойств материала композиции $Al_2O_3 - SiC - C - Si - Al$ – фосфатная добавка, полученных полусухим прессованием при 100 МПа с введением в качестве связующего гидролизата этилсиликата. Изучены фазовый состав и структура огнеупора. Показано преимущество введения фосфатной добавки в материал $Al_2O_3 - SiC - C$ на этилсиликатной связке совместно с комплексным антиоксидантом Al + Si. Даны рекомендации по применению разработанных новых материалов системы $Al_2O_3 - SiC - C$ для изготовления стаканов для разливки стали.

Ключевые слова: композиционные материалы, корундографитовый огнеупор, модифицирующие добавки, кинетика окисления, фазовый состав, коррозионная стойкость.

THE SUMMARY

Angolenko L.A. Materials on the basis of $Al_2O_3 - SiC - C$ composition for steelcasting nozzle with the increased resistance to oxidation. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.17.11 – Technology of refractory not metal materials. – National technical university "Kharkov polytechnical institute", Kharkov, 2007.

Materials of a $Al_2O_3 - SiC - C$ composition with the contents of 5–20 mas. % silicon carbide received by a method of powder pressing with introduction of 1–10 mas. % antioxidant additives and with ethyl silicate hydrolyzate use as binding have been elaborated and investigated. The optimization of compositions by a method of a latin square has been carried out. It has been established, that introduction in $Al_2O_3 - SiC - C$ refractories of 2,5 – 5 mas.% antioxidant Si + Al additive together with 5 mas.% phosphate additive provides high resistance to oxidation and action of slag. The value of green density and ultimate compression strength of samples of optimum composition reach accordingly $2,77 g/cm^3$ and 132 MPa. Temperature of deformation under loading reaches 1873–1923 K. The kinetics and mechanism of high–temperature oxidation of modified by complex antioxidant alumina–graphite – silicon carbide materials has been investigated. The corrosion resistance of $Al_2O_3 - SiC - C$ –materials to action of sour slags has been determined. The material with the contents of 20 mas. % SiC has appeared most corrosion-resistant with the antioxidant contents up to 5 mas. %, with the contents of 5 mas. % SiC – only 2,5–5 mas. % antioxidant additive. Phase composition and structure of refractory have been investigated. Recommendations for application of the developed new materials of system $Al_2O_3 - SiC - C$ for manufacturing nozzles for steel pouring have been given.

Key words: composite materials, alumina-graphite refractory, modifying agents, oxidation kinetics, phase composition, corrosion resistance.

Відповідальний за випуск д.т.н., проф. Пітак Я.М.

Підписано до друку 03.10.2007 р. Формат 60x84/16.

Папір офсетн. Друк – ризографія. Умовн. друк. арк. 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. №

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р.
61024, м. Харків, вул. Гуданова, 4/10
