

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Металургія
(код та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота / проект

друшії (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему *Вплив антропогенних домішок на процес вигорання графіту у керихазобумієвих болетривах*

Виконав: студент 2 курсу, групи MET 18-102
спеціальності 136 Металургія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Металургія чорних металів
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Цибенко Н.О.

(ініціали та прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Гарченко О.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент д.т.н., проф. Мерковска Ю.Р.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Металургії
Кафедра Металургії
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 136 Металургія
(код та назва)
Освітня програма Металургія горючих металів
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри [підпис]
« 10 » 01 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Шибенко Наталі Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Вплив антропогенних факторів на процес вигорання графіту у перешкозобутильних волютиривах
керівник роботи Харченко О.В. - к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 10 » 09 2019 року № 1541-с

2 Строк подання студентом роботи 10.01.2020

3 Вихідні дані до роботи Авторські свідоцтва, науково-технічна література, технологічні інструкції та інші інформаційні джерела

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Термодат, вентил, загальна частинка, експериментальна частинка, економічна частинка, охорона праці, висновки, список використаних джерел

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Аналітична-технологічна схема, фізико-хімічні основи технології, фізико-хімічні властивості виробів, механізми дії та зміна маси антропогенних, показники ступеня та перешкозобутильних графітів, вплив вентилу, ефективність дії антропогенних.

2020-01-17 12:56

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1 Замовська частина	к.т.н., доцент Харченко О.В.	02.09.19	16.09.19
Розділ 2 Технічний виробництва	к.т.н., доцент Харченко О.В.	14.09.19	01.10.19
Розділ 3 Виробничостан	к.т.н., доцент Харченко О.В.	01.10.19	29.11.19
Розділ 4 Економічна частина	к.т.н., доцент Харченко О.В.	29.11.19	12.12.19
Розділ 5 Особа праці	к.т.н., доцент Харченко О.В.	12.12.19	23.12.19

7 Дата видачі завдання 02.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Збір матеріалу магістерської роботи	10.09.19	
2	Трибунація та аналіз зібраного матеріалу	01.10.19	
3	Виконання загальної частини	29.11.19	
4	Трибунація експериментів	29.11.19	
5	Виконання спеціальної частини	12.12.19	
6	Виконання розділу особа праці	23.12.19	
7	Перевірка роботи консультантом	27.12.19	
8	Здійняття повсякденної записки	10.01.20	
9	Захист магістерської роботи	17.01.20	

Студент Ншш (підпис) Ушбенко Н.О. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) фт (підпис) Харченко О.В. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер л (підпис) Башнін С.В. (ініціали та прізвище)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ.....	8
1.1 Сучасний стан виробництва вогнетривів.....	8
1.2 Властивості периклазовуглецевих вогнетривів.....	10
1.3 Застосування ПУ-вогнетривів в металургійних агрегатах та причини зниження експлуатаційного ресурсу футеровок.....	13
1.4 Сучасні способи захисту вуглецю від вигорання у ПУ-вогнетривах.	20
1.5 Фізико-хімічні аспекти дії антиокислюючих домішок на процеси вигорання вуглецю	23
1.6 Висновки.....	30
2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ.....	31
2.1 Технологія отримання периклазовуглецевих виробів.....	31
2.2 Опис основного технологічного обладнання.....	38
2.2.1 Технічна характеристика планетарного змішувача.....	38
2.2.2 Технічна характеристика пресу гідравлічного.....	40
2.2.3 Технічна характеристика і принцип дії тунельного сушила.....	42
2.3 Висновки.....	43
3 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	44
3.1 Теоретичне обґрунтування вирішення постановленої задачі.....	44
3.2 Характеристика сировинних матеріалів та методів проведення досліджень.....	44
3.3 Дослідження впливу антиоксидантів на показники властивостей периклазовуглецевих зразків і ступінь вигорання вуглецю.....	49

	5
3.4 Висновки.....	71
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	75
4.1 Актуальність проведення науково-дослідної роботи.....	75
4.2 Планування кошторису витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	76
4.2.1 Витрати на сировинні матеріали.....	76
4.2.2 Обґрунтування штатного розкладу для виконання досліджень і розрахунок річного фонду заробітної плати.....	78
4.2.3 Розрахунок нарахувань на заробітну плату.....	79
4.2.4 Розрахунок інших виробничих витрат.....	79
4.3 Висновки.....	81
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ	82
5.1 Аналіз санітарно-гігієнічних умов у лабораторії.....	83
5.2 Техніка безпеки й протипожежна профілактика.....	87
5.3 Заходи поліпшення умов праці в лабораторії.....	89
5.3.1 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції.....	90
5.3.2 Розрахунок штучного освітлення.....	91
5.4 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).....	94
5.5 Висновки.....	94
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	95
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	97

ВСТУП

Мета роботи – дослідження впливу антиокислювальних домішок на процеси вигорання графіту у периклазовуглецевих вогнетривах та вибір ефективного антиоксиданту, зменшення ступеню вигорання вуглецю.

Об'єкт розробки – периклазовуглецеві вогнетриви.

Завдання роботи:

1. Розгляд впливу антиокислювальних домішок на вигорання вуглецю.
2. Визначення залежності показників властивостей периклазовуглецевих вогнетривів від виду антиокислювальної добавки.

Металургійна промисловість є однією з найбільш розвинутих і важливих галузей економіки України.

Специфіка ситуації в Україні така, що розвиток чорної металургії і рішення екологічних проблем у великій мірі визначаються станом киснево-конвертерного виробництва сталі. Важливу роль у розвитку конвертерних процесів грає зниження витрат на вогнетриви - вагової ресурсо- і енергоємної статті у витратах по переділу. Це особливо актуально для українських заводів у зв'язку з відсутністю в країні власних запасів магнезиту.

Вогнетриви займають значне місце в чорній металургії і в багатьох інших галузях промисловості (хімічній, теплоенергетиці, виробництві будівельних матеріалів тощо). Вироби вогнетривки, стійкі за своєю природою до високих температур, використовуються для спорудження та ремонту печей та інших металургійних об'єктів, що вимагають збереження тепла.

Сучасні тенденції в розвитку металургійних процесів визначили підвищені вимоги до вогнетривів за термічною стійкістю, стійкістю до руйнуючої дії розплавів металу та шлаку. Цим вимогам в значній мірі відповідають безвипалювальні периклазовуглецеві вогнетриви. Використання в складі оксидних вогнетривів вуглецю, що відрізняється підвищеною теплопровідністю і низькою змочуваністю розплавами,

забезпечує підвищення експлуатаційної надійності виробів. Завдяки високому експлуатаційному ресурсу вуглецьвміщуючі вогнетриви використовуються в футеровках основних металургійних агрегатах металургійного циклу виробництва сталі: конвертор, електродугова сталеплавильна піч, установка "піч-ківш", сталерозливний ківш, проміжний ківш, установки машин безперервного розливання сталі (МБЛЗ).

Істотним недоліком периклазовуглецевих виробів є окислення вуглецю, що вводиться у вогнетривку шихту у вигляді графіту, коксу, пеку, і призводить до розпушення структури і зменшення зносостійкості периклазовуглецевих вогнетривів [1,2].

До загальновідомих і широко вживаних методів запобігання окислення вуглецю відносяться введення в склад вуглецьвміщуючих мас високоефективних антиоксидантів, просочення виробів високовуглецевими смолами та пеком, використання органічних зв'язок з високим коксовим залишком [1,2].

Найбільше поширення серед способів стабілізації вуглецю отримало використання антиокислювальних домішок – антиоксидантів, які впливають на зменшення ступеню вигорання вуглецю, що забезпечує збереження властивостей вогнетривів в процесі експлуатації, а в деяких випадках сприяє покращенню фізико-хімічних властивостей вуглецьвміщуючих вогнетривів.

Актуальність роботи. Враховуючи взаємозв'язок інтенсивності зневуглицювання виробів в умовах високих температур служби, пошук раціональних методів і технологічних прийомів стабілізації вуглецю є актуальним завданням у вирішенні проблеми покращення якості периклазовуглецевих вогнетривів.

Пояснювальна записка на кваліфікаційну роботу магістра «Вплив антиокислювальних домішок на процеси вигорання графіту у периклазовуглецевих вогнетривах» містить: 102 с., 19 рис., 21 табл., 40 джерел.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА

ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ

1.1 Сучасний стан виробництва вогнетривів

Вогнетривкі вироби і матеріали для виробництва чавуну і сталі набули значного розвитку в останні 25-30 років, що зумовило певний прогрес у вдосконаленні роботи основних технологічних агрегатів. В даний час вже цілком очевидно, що використання нових високоефективних вогнетривких продуктів дозволяє металургам помітно знизити їх питомі витрати на тону сталі, підвищити енергозберігаючий ефект і забезпечити стабільність роботи технологічних систем [3].

Говорячи про особливості виробництва і поставок вогнетривів, слід зазначити, що в останні 10-15 років у світовій вогнетривкій промисловості спостерігається процес консолідації і злиття виробників вогнетривких матеріалів. Так, в результаті злиття ряду вогнетривких фірм і заводів в 1998 р сформувалася дуже велика інтегрована компанія RHI Refractories, до складу якої увійшли провідні європейські виробники вогнетривів Radex Austria AG, Veitscher Magnesitwerke, Didier-Werke AG, а також були поглинені фірми GIT/Harbison-Walker (USA), Monofrax, два заводи фірми Foseko, RHI Normag AS, Premier Periclase Ltd., Stopinc AG, а також деякі інші заводи [4].

Одним зі світових лідерів у виробництві вогнетривів стає вертикально-інтегрована компанія Magnesita Refratarios SA, що володіє виробничими потужностями в Бразилії, Аргентині, США, Франції, Бельгії, Німеччині, Тайвані та Китаї. Її сукупні виробничі потужності оцінюються в 1500 тис. т/рік. При цьому компанія може використовувати приблизно 80% власної сировини у виробництві вогнетривких матеріалів, що робить його одним з найдешевших виробників в галузі. Компанія є провідним оператором на ринку вогнетривких виробів в Південній Америці, а також обслуговує клієнтів в Північній Америці, Європі та Азії.

В останнє десятиліття в число найбільших світових виробників увійшла німецька компанія «Calderys», яка виробляє понад 600 тис. т вогнетривів в рік. Компанія має в своєму розпорядженні 18 заводів в 16 країнах світу. У компанію влилися відомі виробники неформованих матеріалів і вогнетривких бетонів «Plibrico» і «Basalt». За останні роки компанією були модернізовані деякі виробничі ділянки на заводах в Західній Європі, відкрилося і розширилося виробництво вогнетривів в Китаї.

У число найбільших світових виробників вогнетривів увійшла також відома японська фірма «Krosaki Harima», яка поглинула відомого індійського виробника «Tata Refractories».

Світове виробництво вогнетривких матеріалів і виробів, за різними джерелами, оцінюється на рівні 48-50 млн. т/рік. В даний час домінуючим виробником вогнетривів в світі стала КНР (понад 60% від усього обсягу). При цьому китайським заводам вже на початку нового тисячоліття вдалося серйозно посунути з ринку багатьох традиційно сильних виробників з Японії, Німеччини, Австрії, Італії та США. Така трансформація ринку вогнетривів стала можлива в силу ряду факторів:

- в Китаї бурхливо розвивається чорна металургія і це стимулювало інтенсивний розвиток вогнетривкої промисловості;

- розвиток вогнетривкої промисловості Китаю базується на колосальних запасах первинної сировини (магнезит, боксити, шамот і ін.), яке має порівняно низьку ціну і високу якість;

- промисловість Китаю розвивається на базі сучасних інноваційних технологій і обладнання, які запозичені у провідних світових виробників з Японії і Європи;

- в Китаї приділяється велика увага експорту вогнетривкої продукції, який охоплює все більшу кількість країн і компаній в силу конкурентноспроможної високоякісної продукції і порівняно низької ціни на неї [5].

Українська вогнетривка промисловість ще в кінці 80-х рр. минулого століття була однією з найбільших в Європі і світі та забезпечувала виробництво на рівні 2 млн. т/рік. Виробництво вогнетривких матеріалів і виробів здійснювалося на кількох десятках підприємств, а поставка продукції здійснювалася не тільки на вітчизняні металургійні підприємства, але також в Росію, Молдову, країни Східної Європи тощо.

Тим часом в наступні роки виробництво вогнетривів в Україні неухильно скорочувалось, що слід пов'язувати з низкою об'єктивних і суб'єктивних факторів. У той же час неухильно став зростати їх імпорт, який по ряду позицій становить від 60 до 100%. При цьому мова йде про ввезення найбільш відповідальних вогнетривів, що визначають працездатність основних металургійних агрегатів.

Якщо аналізувати значимість імпортних поставок, то, перш за все, слід зупинитися на виробках на основі магнезиту і периклазу. Найбільш типові області застосування вогнетривів на основі магнезиту і периклазу: футеровка конвертерів і дугових печей; футеровка сталерозливних ковшів; футеровка проміжних ковшів МБЛЗ; шибєрні плити сталерозливних ковшів; високотемпературні випалювальні печі; різного роду добавки і флюси в сталеплавильному виробництві тощо.

1.2 Властивості периклазовуглецевих вогнетривів

Периклазовуглецеві вогнетриви - це безобпалювальні вироби, сформовані під високим тиском із застосуванням вуглецевого в'язучого з маси, що містить периклаз і графіт в різних співвідношеннях. Одним з основних компонентів периклазовуглецевих вогнетривів є графіт, властивості якого забезпечують високу теплопровідність та шлакостійкість цих матеріалів. Функція вуглецю полягає в підвищенні термостійкості вогнетривів за рахунок високої теплопровідності і низького температурного коефіцієнта лінійного розширення графіту [6], в запобіганні проникнення

шлаку в вогнетриви через низьку змочуваність вуглецю шлаком, підвищення в'язкості і температури плавлення шлаку при відновлюванні оксидів заліза в шлаку [7].

Єдиної класифікації оксидно-вуглецевих матеріалів не існує. Американським товариством з випробування матеріалів була запропонована класифікація вогнетривів за змістом залишкового вуглецю [8].

Згідно з цією класифікацією периклазовуглецеві вогнетриви підрозділяють на чотири групи за вмістом залишкового вуглецю:

1. Периклазовуглецеві вогнетриви, в яких залишковий вміст вуглецю не перевищує 4-5%. У цю групу входять вогнетриви для кисневих конвертерів, дугових печей тощо.

2. Периклазографітові вогнетривкі вироби із вмістом вуглецю до 13%, сформовані на синтетичному або пековому в'язучому.

3. Периклазографітові вогнетривкі вироби з вмістом вуглецю 13-19%.

4. Периклазовуглецеві вогнетриви з вмістом вуглецю понад 30%.

Зі зміною вмісту залишкового вуглецю змінюються властивості периклазовуглецевих вогнетривів - уявна щільність, межа міцності при стисканні і вигині та відкрита пористість. Ці властивості впливають на якісні показники вогнетривів при високих температурах. Це обумовлюється тим, що шлакостійкість та початок деформації під навантаженням деяких видів вогнетривів залежать від пористості, а якість виробів пов'язана з їх щільністю. Так, периклазовуглецеві вироби з 15% графіту на пековому в'язучому знижують міцність при вигині з 11,6 до 3,1 МПа при нагріванні до 200-250°C. Межа міцності при стисненні знижується з 48-50 до 32-34 МПа при нагріванні до температури 600°C, а потім спостерігається зростання міцності при стисненні до 36-38 МПа при 1500°C [9].

Уявна щільність виробів знаходиться у межах 2,8-3,1 г/см³.

Деякі властивості периклазовуглецевих вогнетривких виробів різних виробників наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Фізико-хімічні властивості периклазовуглецевих виробів

Найменування показника	Норма для виробів									
	Виробник Україна				Виробник Китай		Виробник Німеччина		Виробник Словаччина	
	ПУКК -6	ПУКК -8	ПУКК -9	ПУКК -10	MT-10A	DHC-14G	MACARBON 9105	MACARBON 9910	SMAG C10/93	SMAG C15/96X100
Масова частка, %										
MgO, не менш	93,0	91,0	91,0	91,0	80,0	76,0	у межах 91-96	99,0	92,0	95,0
Fe ₂ O ₃ , не більш	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	1,0	0,1	-	-
SiO ₂ , не більш	1,0	1,0	1,0	1,0	-	-	-	-	-	-
CaO/ SiO ₂	-	-	-	-	-	-	1,7	> 1,9	-	-
Al ₂ O ₃ , у межах	-	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0	-	-	не більш 0,5	не більш 0,1	-	-
C, % у межах	10,0-14,0	10,0-14,0	5,0-10,0	10,0-14,0	10,0	14,0	5,0	10,0	10,0	14,0
Межа міцності при стисканні, МПа, не менш	35,0	35,0	40,0	40,0	40,0	40,0	45,0	40,0	40,0	30,0
Відкрита пористість, %, не більш	5,0	5,0	4,0	4,0	4,0	3,0	5,0-7,0	4,0-6,0	8,0	6,0
Уявна щільність, г/см ³ не менш	2,90	2,90	2,95	2,95	2,90	2,92	3,00-3,10	2,95-3,05	2,95	2,95

Температурний коефіцієнт лінійного розширення периклазовуглецевих виробів при збільшенні вмісту вуглецю з 10 до 30% зменшується з 1,65 до 1,3% за температурою 1500°C.

Введення графіту у виріб збільшує теплопровідність, яка зростає з 4,8 до 10 Вт/(м·К) при введенні 15% графіту. При подальшому підвищенні вмісту графіту з 15 до 25% теплопровідність поступово збільшується з 10 до 11,6 Вт/(м·К).

Графіт сприяє зниженню проникнення шлаку і руйнування в'язучого у вогнетриві. Глибина проникнення шлаку в периклазовуглецевих виробках невелика і залежить від величини зневуглецьованої зони і щільного шару вторинного периклазу.

1.3 Застосування периклазовуглецевих вогнетривів в металургійних агрегатах та причини зниження експлуатаційного ресурсу футеровок

Впровадження сучасних високотемпературних процесів у металургійне виробництво обумовило підвищення вимог до вогнетривів за термічною та хімічною стійкістю до руйнуючої дії розплавів металів і шлаків.

Цим вимогам певною мірою відповідають безвипалювальні периклазовуглецеві вогнетриви.

Високі експлуатаційні властивості вуглецьвміщуючих композиційних матеріалів обумовлюється використанням вуглецю, який характеризується підвищеною теплопровідністю та низьким змочуванням розплавами металів і шлаків.

Завдяки високому експлуатаційному ресурсу периклазовуглецевих вогнетривів ці вироби використовуються в футеровках основних металургійних агрегатах металургійного циклу виробництва сталі: конвертор, електродугова сталеплавильна піч, установка "піч-ківш",

сталерозливний ківш, проміжний ківш, установки машин безперервного розливання сталі.

У процесі експлуатації вогнетривка футеровка конвертора піддається впливу високих температур, хімічному зношуванню, термомеханічним навантаженням. Стійкість футеровки конвертора визначається технологією проведення плавки, у тому числі шлаковим режимом і технологією гарячих ремонтів футеровки, нанесенням захисного шлакового гарнісажу шляхом роздування кінцевих шлаків, а також підваркою і торкретуванням місць локального зношування.

Підвищення стійкості футеровки конвертерів в умовах зростаючої інтенсифікації киснево-конвертерного процесу досягається широким використанням периклазовуглецевих виробів, що виготовляються на основі плавленого і спеченого периклазу, графіту та зв'язуючого компоненту (фенолформальдегідної смоли) [1-2, 8].

Використання периклазовуглецевих виробів в даному агрегаті обумовлено можливістю адаптації цих вогнетривів до різних факторів зношування залежно від зони футеровки. Останнє досягається шляхом оптимізації вмісту вуглецю у виробках і для різних зон футеровки конвертора вміст вуглецю коливається від 5 – 10 % до 10 – 14 %.

У теперішній час використовуються диференційовані футеровки з периклазовуглецевих вогнетривів в кисневих конверторах всіх типів. Диференційовані футеровки дозволяють з урахуванням специфіки умов експлуатації вогнетривів здійснювати вибір економічних схем футеровки та забезпечувати рівну або кратну стійкість різних ділянок футеровки металургійних агрегатів [2, 10].

Для виробництва високоякісних легованих сталей, які складно одержувати в мартенівських печах і конверторах, застосовуються електричні дугові печі. Відмінною рисою дугових сталеплавильних печей (ДСП) є можливість досягнення в робочому просторі високої температури - до 2500 °С.

За особливостями впливу руйнуючих факторів на вогнетривку футеровку стін ДСП виділяють наступні зони: футеровка вище рівня шлаків, зона шлакового пояса, футеровка нижче рівня металу. Вогнетривка футеровка стін печі вище рівня шлаків зазнає: високі температури та пряме випромінювання дуг, термомеханічні навантаження, агресивну хімічну дію плавильного пилу. Футеровка стін нижче рівня металу піддається впливу високих температур, механічній і хімічній дії розплавленого металу [11,12].

Вогнетриви у шлаковому поясі ДСП піддаються активному впливу перегрітих шлаків низької в'язкості з високою швидкістю конвекції, що досягає кілька метрів у секунду. Домінуюча роль при зношуванні футеровки шлакового поясу печі належить фізико-хімічним процесам, що відбуваються при проникненні заліzosилікатного і шлакового розплавів у пори і тріщини вогнетривів та насиченні вогнетриву компонентами шлаків (оксидами кремнію, кальцію, заліза тощо).

Тому для футеровки шлакового поясу стін і кладки стін печей з екрануванням дуги пінистим шлаком, кладки частини стіни в районі електродів і для кладки стін, що охолоджуються водою, трубок та втулок вузла донного випуску використовують периклазовуглецеві вироби зі спеченого периклазу, застосування яких найбільш ефективно при температурах експлуатації не вище 1650 °C і при роботі з пінистими шлаками. При більш агресивних умовах експлуатації для шлакового пояса рекомендується застосовувати вироби, які виготовлено із плавлених матеріалів [12].

В останні роки вторинна (ковшова) металургія перетворилася в самостійний технологічний етап сталеплавильного виробництва, специфічні особливості якої визначають вибір оптимальної вогнетривкої футеровки [13]. Сталерозливні ковші відносяться до основного металургійного устаткування і застосовуються для прийому, транспортування, обробки сталі в ковші та розливання розплавленого металу [14, 15].

Стійкість футеровки сталерозливних ковшів багато в чому залежить від експлуатаційних факторів (температури сталі на випуску і у ковші, марки сталі, способів розливання та обробки сталі в ковші, складу та якості шлаків, наявності й обсягу проміжних ремонтів, конструкції футеровки, способу і якості кладки (набивання), сушіння футеровки, оборотності ковшів в одиницю часу, підігріву футеровки в період між розливками та ін.). Перенесення операцій розкислення, десульфурації, дефосфорації, легування зі сталеплавильного агрегату в сталерозливний ківш ускладнює умови служби футеровки сталерозливних ковшів і висуває додаткові вимоги до матеріалів вогнетривкої футеровки, а саме - відсутність взаємодії футеровки з реагентами, що вводяться в розплавлений метал.

Для сталерозливних ковшів використання периклазовуглецевих вогнетривів - найбільш ефективне рішення. Основні переваги периклазу полягають у його високій вогнетривкості і високій стійкості до корозії основними шлаками [16, 17].

Недоліком периклазовуглецевих вогнетривів є їх нерівномірне зношування (зневуглецюванням) у футеровці сталерозливного ковша обумовлено наступними причинами: тепловий удар, механічний удар при зливі сталі в ківш; розтріскування; просочення вогнетривів металом і шлаками; окислювання вуглецю вогнетривів, ерозія і окислювання зневуглецюваного шару. При цьому стійкість всієї футеровки сталерозливного ковша лімітується швидкістю зношування виробів у шлаковому поясі та на ділянці падіння струменя металу [10,17,18].

Для виробництва низьковуглецевих сталей вміст вуглецю в периклазовуглецевміщуючих виробках для футеровки стін і дна ковша не повинен перевищувати 3 %, а у кладці шлакового пояса 10 % [18]. Зниження вмісту вуглецю в периклазовуглецевих вогнетривах шлакового пояса обумовлено необхідністю запобігання навуглецювання сталі при виплавці низьковуглецевих сталей. Проблемою використання таких вогнетривів є їх висока теплопровідність, що викликає підвищені теплові втрати через кладку

футеровки. Вирішення цієї проблеми було досягнуто шляхом створення вогнетривів з низькою теплопровідністю.

Домінуючими виробами для шлакового пояса продовжують залишатися периклазовуглецеві вогнетриви на основі плавленого периклазу з підвищеним вмістом вуглецю й додаванням антиоксиданту, але вуглецьвміщуючі вогнетриви використовують не тільки для футеровки шлакового поясу, а й для футеровки стін.

Аналіз сучасного стану і перспектив розвитку вогнетривів показав, що периклазовуглецевими вогнетривами футерують шлаковий пояс сталерозливних ковшів при розливанні сталей на машинах безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), і на установках "піч-ківш" (УПК) [10,14,18]. Також використовують периклазовуглецеві вогнетриви з різним вмістом вуглецю у футеровках робочого шару стін і днища ковшів УПК. Обробка металу в УПК включає продувку аргонном, дуговий підігрів і введення різних добавок. Тривалість обробки розплаву в УПК становить 20 - 35 хв.

Футеровка ковшів УПК експлуатується в більш жорстких умовах, ніж у звичайних сталерозливних ковшах, що обумовлено більш високими температурами та більшою тривалістю перебування металу в ковші, значним ерозійно-корозійним впливом розплавів [2,19].

Наявність значної кількості конверторного шлаку, його висока рухливість через високотемпературний режим нагрівання і присадки плавикового шпату негативно впливають на стійкість футеровки сталерозливного ковша. Підвищення стійкості всієї футеровки сталерозливного ковша УПК досягнуто шляхом диференційованого вибору периклазовуглецевих вогнетривів для футеровки шлакового поясу і стін. Так для шлакового поясу використовують периклазовуглецеві вогнетриви марки DALCALD PC12 (вміст MgO – 82,1%, Al_2O_3 – 5,8%, C – 13,3 %); а для стін - алюмопериклазовуглецеві вогнетриви марки DALCALD APC-7 (MgO – 12,3 %, Al_2O_3 – 76,7 %, C – 7,5 %). Ці вогнетриви виготовлені з

використанням плавленого периклазу, корунду і шпінелі, графіту зниженої зольності, комплексного антиоксиданту і органічного зв'язуючого [10].

Оскільки, вуглецьвміщуючі вогнетриви мають високий експлуатаційний ресурс тому вони отримали широке розповсюдження в футеровках основних металургійних агрегатах. Але суттєвим недоліком вуглецьвміщуючих виробів є окислення вуглецю, введеного у вогнетривку шихту у вигляді графіту, коксу, пеку, що приводять до розпушування структури та зниження зносостійкості даних вогнетривів [7,8].

Найбільше використання в теплових агрегатах з вуглецьвміщуючих вогнетривів отримали периклазовуглецеві вироби.

Отже, механізм зношування вуглецьвміщуючих вогнетривів розглянемо, на прикладі, периклазовуглецевих виробів.

Зазначені вище причини руйнування периклазовуглецевих вогнетривів дозволили встановити характер взаємодії між шлаками і футеровкою, механізм зношування вогнетривів композиції MgO-C та структурних змін в об'ємі виробів, що викладені нижче.

Корозійно-ерозійне зношення периклазовуглецевих вогнетривів характеризується декількома основними стадіями:

Вище 500°C починається окислення киснем повітря (вигорання) вуглецевої складової (графіту та вуглецевої зв'язки) з робочої поверхні вогнетриву (1.1) та продовжується до максимальної температури його служби, а також відбувається окислення оксидами шлаку (FeO, MnO) (1.2):



Процес окислювання вуглецю в окисному середовищі включає ряд послідовних стадій: абсорбцію молекул окислювача на поверхні частинок; дифузію вглиб матеріалу вогнетриву; хімічну взаємодію; видалення продуктів реакції у вигляді CO і (або) CO₂ залежно від парціального тиску.

Розчинення вуглецю виробів в рідкому металі (зростає зі зменшенням вмісту С в металі); пряма реакція вуглецю виробів з MgO. Це призводить до зниження міцності виробів в інтервалі від 500 °С до 900 °С та підвищення їх пористості.

Встановлено, що найбільш імовірний комбінований механізм відновлення MgO вуглецем: при високих температурах збільшується роль безпосередньої взаємодії твердих фаз MgO і С:



Система (1.3) складається з двох твердих фаз (зліва) і газової фази (праворуч). Якщо при розгляді системи прийняти в якості незалежних складових (компонентів) оксид магнію і вуглець, то газова фаза буде складатися з газоподібного магнію Mg г і оксиду вуглецю CO в еквівалентних кількостях. Система має одну ступінь свободи. Звідки випливає, що при будь якій довільно вибраній температурі газова фаза може існувати при одному визначеному тиску і, навпаки, кожному тиску газової фази відповідає певна температура [2, 20].

При порівняно низьких температурах ~ 1500 С°, відновлення йде за участю CO з проміжним утворенням CO₂:



Відповідно до цієї схеми оксид при температурах до 1500 °С відновлюється монооксидом вуглецю, а роль твердого вуглецю зводиться до безперервної регенерації CO. Моно оксид вуглецю з останньої реакції часто розпадається при деяких температурах на CO₂ і вуглець [2,8]. На даному етапі у вогнетриві утворюється зневуглецьований пористий шар з сторони гарячої поверхні через який йде проникнення шлаку у вогнетрив та

відбуваються реакції хімічної взаємодії компонентів шлаку з MgO виробу. Процес завершується утворенням легкоплавких сполук (переважно силікатів магнію та змішаних силікатів кальцію і магнію). Останньою стадією є розчинення новоутворених компонентів вогнетриву у шлаку. Всі ці процеси призводять до значних структурних змін в об'ємі периклазовуглецевих виробів і призводять до руйнування вогнетриву.

Аналіз особливостей використання периклазовуглецевих вогнетривів у футеровках основних металургійних агрегатів, а також механізму зношування футеровок свідчить про те, що поліпшення експлуатаційних властивостей периклазовуглецевих виробів, зниження питомої витрати вогнетривів і збільшення експлуатаційного ресурсу футеровок може бути досягнуте на стадії виготовлення вогнетривів шляхом удосконалювання технології їх виробництва [8,10].

1.4 Сучасні способи захисту вуглецю від вигорання у вуглецьвміщуючих вогнетривах

Вивчення механізму руйнування периклазовуглецевих вогнетривів на межі контакту вогнетрив - розплав показує, що одним з суттєвих факторів їх зношення є зневуглецювання робочої зони [13].

З метою зменшення ступеню вигорання вуглецю та підвищення експлуатаційного ресурсу вуглецьвміщуючих вогнетривів необхідно попередити вигорання, тобто стабілізувати вуглець.

Стабілізація (збереження) вуглецю у вогнетривах полягає в розвитку антиоксидантних процесів у широкому температурному інтервалі служби вогнетривів.

Запобігання окислення вуглецьвміщуючих вогнетривів можливо з використанням наступних методів: хімічного, структурного, фізичного, термічного та атмосферного. Найбільш ефективно одночасне використання декількох вказаних методів.

Хімічний метод заснований на використанні найменшої кількості вуглецевих сполук, що окислюються, хімічних зв'язок, які інгібують, комплексних антиоксидантів, що перешкоджають окисленню сполук, металів.

Структурний метод полягає в формуванні щільної структури вуглецьвміщуючих вогнетривів, що перешкоджає проникненню кисню. При використанні *фізичного методу* (пасивації) на вогнетриви наносять захисні антиоксидантні покриття: обмазки, легкоплавкі глазури, маси, металічні касети та ін. Пасивація вуглецевих сполук здійснюється різними способами: покриттям та просочуванням розчинами різних кислот та солей (наприклад, ортофосфорної, алюмоборфосфатними зв'язками та ін.); покриттям методом розплавлення (силіціювання, борирування та ін. плазменним напиленням [2,13,21]).

Слід зазначити, що просочення периклазовуглецевих виробів не тільки сприяє захисту вуглецю від окислення, але й підвищує вміст вуглецю у виробках, якщо просочення здійснюється органічними речовинами. Причому в умовах високих температур органічна складова розчину для просочення закоксується в порах вогнетриву, що підвищує його стійкість. Для просочення периклазовуглецевих виробів використовують фенольні смоли [22].

Для захисту вуглецю від окислення шляхом просочення графітових виробів авторами [23] запропоновано використання золю алкоксисилану.

Для покриття вуглецьвміщуючих вогнетривів використовують метод фарбування їх поверхні розчином [24].

При *термічному методі* передбачається максимально швидкий нагрів вогнетривів до високих температур експлуатації, при якому кисень не встигає повністю окислити вуглецеві сполуки. На поверхні вогнетривів утворюється тонка окислена плівка, що перешкоджає проникненню кисню всередину виробу (матеріалу).

Атмосферний метод реалізується випалом вуглецьвміщуючих вогнетривів у відновному, азотовміщуючому середовищі або середовищі нейтральних газів, тобто в середовищі, що не містить кисень (також у вакуумі).

Крім відомих способів захисту вуглецю представляє інтерес спосіб попереднього модифікування графіту кремнійорганічною речовиною [23].

Одним з найважливіших напрямків удосконалювання технології вуглецьвміщуючих вогнетривів є розробка способів захисту вуглецю від окислювання, що може бути вирішено шляхом добавки металів, без кисневих сполук, що представляють собою в'язку рідку фазу (рідкий силікат натрію, борати, фосфати), а також створенням мікропористої структури, що перешкоджає дифузії кисню у вогнетрив [25].

Дослідження у цій області спрямовані, головним чином, на розробку і одержання нових вогнетривких мас, що містять високоефективні, з одного боку, і не дорогі з іншого боку, - антиоксиданти. Для цієї мети застосовують метали, які легко окислюються, дво- і трикомпонентні сплави, карбіди, бориди й інші сполуки, які вводять у тонкомелену частину вогнетривкої шихти з метою їх рівномірного розподілу у масі [8,13].

Доведено, що дані добавки, забезпечують функцію самовідновлення в вуглецьвміщуючих вогнетривах. Функція самовідновлення включає: відновлення CO_2 (г) до С (тв), що забезпечить зниження втрат вуглецю; зменшення пористості вогнетриву; підвищення границі міцності при розриві; прискорення кристалізації вільного вуглецю зі зв'язки; утворення захисного шару на поверхні вогнетриву з підвищенням стійкості до окислення та корозійної стійкості.

До добавок, що використовуються в складі вогнетриву та мають антиоксидантні властивості відносяться наступні сполуки: TiB_2 , B_4C , MgB_2 , CrB_2 , BN , $\text{B}_{\text{аморф}} - 95 \%$, $\text{B}_{\text{аморф}} - 85 \%$, борон-2000, $\text{Al}_{\text{вт}}$ (алюміній вторинний), $\text{Al}_{\text{пуд}}$ (алюмінієва пудра), $\text{Al}_{\text{шл}}$, Mg, Si, Fe, SiC, H_3BO_3 , $(\text{NaPO}_3)_n$ [13,14, 26].

Для захисту вуглецю від окислення в склад вогнетриву додають антиоксиданти у вигляді дисперсного порошку з розміром зерен не крупніше 100 мкм, кількість якого оптимізують для кожного виду виробів, як правило їх вміст не перевищує 5 %. Припускають, що дисперсні добавки антиоксидантів швидше окисляються киснем і оксидами заліза шлаків, що знижує швидкість окислювання вуглецю [13].

Найбільш поширеними антиоксидантами є металічні алюміній та магній, більш ефективною є добавка борвміщуючих сполук [22].

Введення антиокислюючих добавок у склад вогнетривких мас сприяє збереженню вуглецевих компонентів в складі вогнетриву. Продукти взаємодії антиоксидантів з реакційним газовим середовищем заповнюють пори вогнетриву та перешкоджають окисленню вуглецю. Слід зазначити, що антиоксиданти не тільки підвищують стійкість вогнетривких виробів до окислення, але й покращують міцнісні характеристики; метало- та шлакостійкість [8,13].

Всі ці фактори будуть позитивно впливати на експлуатаційні властивості вуглецьвміщуючих вогнетривів, тобто підвищать стійкість вогнетриву до дії агресивних середовищ – розплавів металів і шлаків та експлуатаційний ресурс вуглецьвміщуючих футеровок.

1.5 Фізико-хімічні аспекти дії антиокислюючих домішок на процеси вигорання вуглецю

Найбільш розповсюджений спосіб захисту вуглецю від вигорання пов'язаний з введенням порошкоподібних антиоксидантів [26].

В якості антиоксидантних домішок використовують метали, карбіди, бориди, силіциди та ін.

Вплив металічних антиоксидантів на окислювальні процеси вивчено найбільш досконало. Найбільше розповсюдження отримали металічні антиоксиданти: алюміній, кремній, магній, алюмомагнієві і алюмокремнієві

сплави та інші метали. Антиоксиданти вводять сумісно зі зв'язуючим компонентом, що сприяє їх рівномірному розподіленню в шихті вогнетриву.

Метали окислюються швидше, ніж вуглецева зв'язка і графіт, причому утворення оксидів металів супроводжується збільшенням об'ємів, що призводить до зниження пористості та газопроникності вогнетривів [8].

Відомий спосіб отримання периклазовуглецевих вогнетривких виробів з використанням периклазу і графіту з використанням в якості антиоксиданту алюмінієвої пудри [26].

Більшість проведених дослідів вказує на добру стійкість до окислення при введенні металічного алюмінію та його сплавів, найбільша дія якого проявляється при температурі $>1100^{\circ}\text{C}$ [2].

Добавка металевого алюмінію придушує окислювання вуглецю внаслідок хімічного процесу, що включає реакції:



У процесі служби вогнетривів при взаємодії вуглецю з алюмінієм утворюється також карбід алюмінію Al_4C_3 [11]:



Але металічний алюміній може взаємодіяти з CaO , що входить в склад шлаку, з утворенням легкоплавкої сполуки, що буде знижувати корозійну стійкість. В зв'язку з цим експериментально встановлено, що оптимальна величина добавки алюмінію складає 3-4%.

В процесі служби вогнетривів при взаємодії вуглецю з алюмінієм утворюється також карбід алюмінію Al_4C_3 , який розповсюджується по границям лусочок графіту у вигляді білих кільцеподібних частинок, що

підсилюють зв'язок між вогнетривкими зернами та підвищують міцність вогнетривів. Оскільки Al та Al_4C_3 володіють більшою, ніж вуглець спорідненістю до кисню, вони легше окислюються киснем або оксидами заліза шлаку, тобто затримують окислення вуглецю.

Введення магнію, як антиоксидантної добавки в периклазовуглецеві вироби в багатьох випадках залежить від попередньої термообробки виробів. В термооброблених виробах магній значного ефекту не дає, в той час як вироби, термооброблені в відновних умовах показують підвищену стійкість до окислення.

Сумісна присутність алюмінію та магнію в периклазовуглецевих вогнетривах показує найкращу антиокислювальну дію. Що підтверджують результати порівняння антиокислювальних властивостей алюмінію та алюмомагнієвого сплаву, кращі результати показав сплав, оскільки при його введенні знижувалась швидкість окислення вуглецю оксидами заліза і підвищувалась стійкість до ерозії в результаті зміцнення структури вогнетривів [2,25].

Слід зазначити й іншу точку зору на доцільність використання металевих антиоксидантів. При температурі 1660 °C антиоксиданти окислюються і їх оксиди відновлюються легше, ніж MgO (головним чином через його реакційну здатність). У зв'язку з цим вони працюють із MgO на збільшення втрат вуглецю. В умовах вакууму відновлення оксидів металевих антиоксидантів завдає більшої шкоди, ніж відновлення MgO в периклазовуглецевій цеглі. Крім того, металеві антиоксиданти є причиною надмірного теплового розширення, і як наслідок причиною механічних напруг.

Кремній, як антиоксидант, поступається алюмінію і магнію та їх сплавам за ефективністю дії в периклазовуглецевих виробах. Крім металічного кремнію відомо застосування в якості антиоксиданту карбіду кремнію SiC (зеленого) [27, 28] та карбіду бору [28] у кількості 1 – 5%.

Авторами [17] досліджений вплив на стійкість до окислювання антиоксидантів Si, Al, SiC, H_3BO_3 шлаки металургійного виробництва) і встановлено наступне. При введенні добавки металевого кремнію стійкість до окислювання зразків, нагрітих до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$, гірша, ніж при використанні алюмінію, а при нагріванні до $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$ сильніше проявляється антиокислювальний ефект від добавки Si, ніж від добавки Al, що пов'язано з більшим впливом процесу форстеритоутворення на зниження пористості зневуглецьованого шару при більш високій температурі. Добавки Si і SiC близькі по силі антиокислювальної дії при нагріванні зразків до $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Застосування добавок Si, SiC, H_3BO_3 обумовлює утворення легкоплавких сполук і є небажаним.

Механізм дії таких добавок, як Al, Si і SiC, обумовлений утворенням карбідів, що блокують мікропори в об'ємі вогнетриву, знижуючи його проникність і сповільнюють процеси окислювання графіту. У результаті утворення карбідних містків у матриці вогнетриву підвищується міцність виробів композиції MgO - C при високих температурах. Крім того, антиоксиданти захищають від окислювання вуглецеву зв'язку, і тим самим перешкоджають підвищенню пористості вогнетривів, знижуючи їх знеміцнення при високих температурах.

Захисна дія карбідів, особливо карбідів бора B_4C і борвміщуючих сполук CaB_6 , AlB_2 , Mg_2B_3 , ZrB_2 та ін., значно вище, ніж металічних добавок.

В якості антиоксиданту авторами [13] був досліджений диборид титану, що представляє собою сплав титану з бором (масова частка титану в сплаві 71,16-72,86 %, бору - 17,05-18,59 %) у поєднанні з металевим алюмінієм. Комплексне застосування добавок дозволяє розширити температурний інтервал захисту вуглецю від окислювання в інтервалі температур $400 - 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Однієї з найефективніших добавок вважається карбід бору B_4C , який при високих температурах реагує із CO, розкладаючись при цьому з виділенням вуглецю й утворенням борного ангідриду B_2O_3 . Внаслідок

значного збільшення об'єму виробу форсуються ущільнення структури і зменшення відкритої пористості. Утворений B_2O_3 перетворюється в сполучення типу $MeO-B_2O_3$, і рідка фаза, що утворюється, захищає вогнетриви від окислювання. Установлено, що введення більше 0,5 % B_4C приводить до значного підвищення стійкості до окислювання й обмеження розчинності MeO в шлаку [29].

Особливо ефективно одночасне використання декількох видів добавок антиоксиданту або їх сплавів. Фахівцями японської фірми "Асахи Гарасу" був вивчений комбінований антиоксидант: алюміній з боридом цирконію ZrB_2 . Проведені дослідження показали, що добавка бориду цирконію в периклазовуглецеву масу (90 % MgO , 10 % C , 1,5 % Al) поліпшує стійкість до окислювання без зниження корозійної стійкості [29].

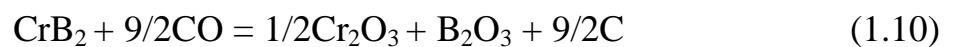
Антиокислювальна дія борвміщуючих добавок пояснюється двома механізмами: окислюванням при температурі вище $1300\text{ }^\circ\text{C}$; утворенням розплаву борату магнію ($3MgO \cdot B_2O_3$) і газоподібних продуктів реакції окислювання боратів (B_2O_3 , MgO газоподібний) та ін.

Поява рідкої фази сприяє зниженню відкритої пористості й тим самим запобігає дифузії кисню у вогнетрив. Гази, що утворюються, знижують тиск кисню в порах вогнетриву, запобігаючи окислюванню графіту, дифундують у напрямку гарячої поверхні футеровки і повторно окислюються, внаслідок чого утворюється вторинний оксид магнію, що ущільнює структуру [13,29].

Але сполуки бору є легкоплавкими і при високих температурах $> 1400\text{ }^\circ\text{C}$ викликають оплавлення робочої поверхні виробів і перехід компонентів антиоксиданту в метал і шлак та зниження в ряді випадків позитивних властивостей виробів, що пов'язано інколи з ризиком їх використання. Щоб звести негативні наслідки до мінімуму, перед всім зменшують до мінімуму величину добавки борвміщуючих сполук (0,5 – 1%) та використовують чисті периклазові порошки (96% MgO) [2].

Особливий інтерес представляє використання добавок в периклазовуглецевих вогнетривах, які не тільки уповільнюють окисні

процеси вуглецю, але й сприяють підвищенню механічної міцності та корозійних властивостей, термостійкості периклазовуглецевих вогнетривів в області високих температур. До таких добавок варто віднести диборид хрому (CrB_2), введення якого в кількості 4 % у периклазовуглецеві маси з вмістом вуглецю 20 % сприяє підвищенню механічної міцності в інтервалах температур 600 – 1400 °С. Механізм зміцнення й ущільнення периклазовуглецевих композицій з добавкою CrB_2 пов'язаний із взаємодією диборида хрому за реакцією:



Протікання цієї реакції супроводжується об'ємним розширенням і це приводить до релаксації пор, що утворюються між периклазом і графітом у вогнетриві внаслідок відсутності прямого зв'язку між цими матеріалами і, як результат, знеміцнення вогнетриву обмежується.

Особливо ефективно одночасне використання декількох видів добавок антиоксиданту або їх сплавів.

Дія комбінованого антиоксиданту ($\text{Al}+\text{Si}$) з неорганічною зв'язкою – технічним поліфосфатом натрію, який вводили у вигляді водного розчину з концентрацією 20%, показало, що порошок алюмінію значно знижує окислення графіту. При низьких температурах 400 - 600°C окислення досягається вводом алюмінію, а вище 700 °С, коли алюміній практично окислився, починає окислюватись Si.

Використання комбінованого антиоксиданту з алюмінієво-магнієвого сплаву евтектичного складу, що пасивований кремнійорганічним покриттям і використаний у масі наступного складу: антиоксидант 2 - 4 %, кристалічний графіт 7 - 20 %, спечений або плавлений периклаз 76 - 91 %, органічна зв'язка 5 - 7 % (понад 100 %).

У випадку використання добавки сплаву Al-Mg слід звернути увагу на процес випаровування магнію в початковий період високотемпературного

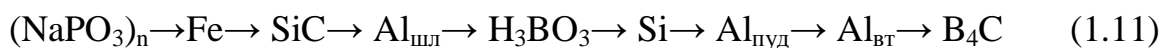
нагріву, що обумовлює утворення поблизу поверхні вогнетриву щільний шар MgO, який перешкоджає проникненню кисню у вогнетрив [30].

Авторами [30] досліджений вплив антиокислювальних добавок Al, сплаву Al - Mg, B_4C , Al-Mg : $B_4C = 1:1$, $Al_6B_4C_7$ на окислювання вуглецю в периклазовуглецевих вогнетривах, складу 80 % MgO, 20 % C, 5 % добавки. Високою стійкістю до окислювання при 1500 °C (витримка 2 години) володіли експериментальні зразки з добавкою B_4C . Висока антиокислювальна здатність добавки B_4C обумовлена тим, що в результаті високотемпературної взаємодії MgO і B_2O_3 поблизу поверхні вогнетриву утворюється розплав, що перешкоджає проникненню кисню всередину матеріалу. Однак внаслідок великого об'єму розплаву, що утворюється, відзначена значна деформація зразків. Добавки, що містять (Al, Al-Mg, Al-Mg : $B_4C = 1:1$, $Al_6B_4C_7$) також забезпечують ефект уповільнення обезвуглецьовування вогнетриву. Механізм дії добавок різний.

При використанні добавки $Al_6B_4C_7$ її розкладання супроводжується утворенням B_2O_3 , що утворює на поверхні периклазу розплав системи MgO- B_2O_3 і разом з алюмінієм перешкоджає окислюванню вуглецю, підсилюючи дію алюмінію.

Таким чином, використання комбінованої добавки "Al + Mg + борвміщуючий компонент" у суворо встановлених співвідношеннях забезпечує формування щільної мікроструктури периклазовуглецевих вогнетривів, зниження окислювання графіту, і, як результат, зниження швидкості зношування периклазовуглецевої футеровки.

Всі досліджувані добавки розміщуються в порядку зростання їх захисних антиокислювальних властивостей в наступний ряд:



Слід зазначити, що антиоксиданти не тільки підвищують стійкість вогнетривких виробів до окислення, але й покращують міцнісні характеристики; метало- та шлакостійкість, зменшують зношення [2,25].

На даний час антиоксидантні добавки, сумісно з вище зазначеними методами, являються ефективним та сучасним методом захисту вуглецьвміщуючих вогнетривів.

1.6 Висновки

В чорній металургії вогнетриви складу MgO-C використовують для футеровки конвертерів, електричних дугових печей і сталерозливних ківшів, в процесах ковшової металургії, виготовлення вузлів МБЛЗ тощо.

Для захисту вуглецю від окислення до складу ПУ-виробів вводять металеві або карбідні добавки (антиоксиданти), що визначають перебіг реакцій, в результаті яких вуглець зв'язується в карбідні або окікарбідні сполуки, тобто змінюють спрямованість реакцій окислення та графітизації вуглецевої складової.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПЕРИКЛАЗОВУГЛЕЦЕВИХ ВОГНЕТРИВІВ

2.1 Технологія отримання периклазовуглецевих виробів

Апаратурно-технологічна схема виробництва периклазовуглецевих виробів для кисневих конвертерів наведена на рисунку 2.1.

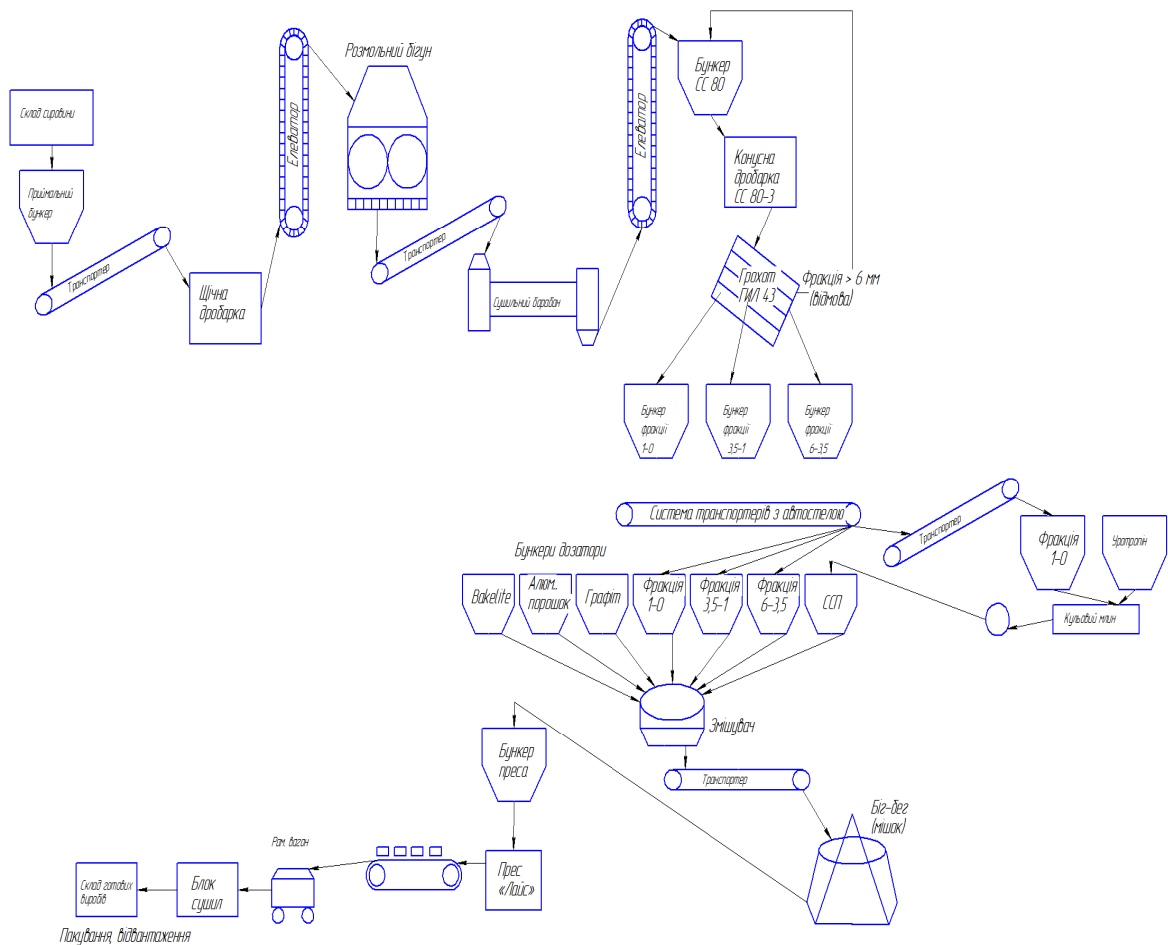


Рисунок 2.1 – Апаратурно-технологічна схема виробництва периклазовуглецевих виробів

Переробка магнезиту Китай 96, Китай 97 (97,5) плавлений починається з його сушки в сушильному барабані. Магнезит Китай 96 або Китай 97 (97,5) плавлений розміру 0-30 мм, 0-40 мм подається в бункер над щічною

дробаркою СМ-741, після щічної дробарки (використовується як тічка) транспортером подається в сушильний барабан довжиною 14 м та діаметром 2,2 м.

Після сушильного барабана магнезит надходить в бункер, з якого віброживильником подається в конусну дробарку СС 80-3. Розмір матеріалу при завантаженні не повинен бути більше 40 мм. Число обертів двигуна 1500 об/хв., потужність двигуна 75-90 кВт. Діаметр дробильного конусу 800 мм. Ширина щілини не більше 4 мм, регулювання гідравлічне.

Після дроблення порошок елеватором подається на грохот ГИЛ-43. Сіяча поверхня має розміри: довжина 4140 ± 50 мм, ширина 1500 ± 30 мм. Кут нахилу короба $10^{\circ} - 25^{\circ}$.

На верхній рамі грохоту ГИЛ-43 встановлюється тканина сітка № 6 з розміром вічка в просвіті 6 мм. На середню раму грохоту ГИЛ-43 встановлюється тканина сітка № 3,5 з розміром вічка в просвіті 3,5 мм. На нижній рамі грохоту ГИЛ-43 встановлюються полотна решітні штамповані з номінальним робочим розміром діаметра отворів 1,1 мм.

Фракція більше 6 мм повертається в конусну дробарку СС 80-3 на повторне дроблення, фракція 6-3,5 мм, 3,5-1 мм, 1-0 мм через витратні бункера передаються по транспортеру в накопичувальні бункера [31].

Переробку магнезиту Китай 96, Китай 97 (97,5) плавлений проводять без сушки, з попереднім розсівом.

Магнезит Китай 96 або Китай 97 (97,5) плавлений розміру 0-30 мм, 0-40 мм з масовою часткою вологи до 1,5% в літній період грейферним краном завантажується в бункер. З бункера по транспортеру, минаючи сушильний барабан, подається на грохот ГИЛ-43 для відсіву фракції 6-3,5 мм, 3,5-1 мм і 1-0 мм, фракція більше 6 мм повертається в бункер конусної дробарки СС 80-3 на повторне дроблення.

Після дроблення в СС 80-3 магнезит елеватором подається на грохот ГИЛ-43.

З накопичувальних бункерів магнезит фракції 6-3,5 мм, 3,5-1 мм, 1-0 мм вібраційним живильником подаються на транспортерну стрічку, обладнану вагами, далі передаються системою стрічкових конвеєрів (транспортерів) до відповідних бункерів дозування пресової ділянки, в бункер кульового млина.

Вимоги до магнезиту за хімічним складом, зерновим складом, масовою часткою вологи, при подачі в бункера помольної ділянки, в бункера пресової ділянки, бункера кульового млина наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимоги до магнезиту після переробки на помольній ділянці

Найменування показника	Встановлений норматив магнезиту		
	Китай плавлений FM 97,5	Китай плавлений FM 97,5	Китай 96
Масова частка MgO, % не менше	97,0	97,5	96,0
SiO ₂ , % не більше	0,7	0,6	0,8
Fe ₂ O ₃ , % не більше	0,7	0,5	0,8
CaO, % не більше	1,5	1,2	1,5
Al ₂ O ₃ , %	факультативно		
Втрати при прожарюванні, % не більше	0,2		0,3
Масова частка вологи, % Літній період (квітень-жовтень), не більше	1,5		
Зимовий період (листопад-березень), не більше	1,0		
Зерновий склад, % Фракція 6-3,5 мм Залишок на сітці №6 мм, не більше	3,0		3,0
Вміст фракції менш 3,5 мм, не більше	10,0		10,0
Фракція 3,5-1 мм Залишок на сітці №3,5 мм, не більше	3,0		3,0
Вміст фракції 1-0 мм, не більше	10,0		7,0
Фракція 1-0 мм Залишок на сітці №1 мм, не більше	5,0		5,0
Прохід через сітку №05 мм, не більше	50,0		50,0

Зерновий склад визначається сіянням на сітках:

- для фракції 6-3,5 мм №6, №5, №4, №3,5, №3, №2, №1, №05;
- для фракції 3,5- мм №3,5, №3, №2, №1, №05;
- для фракції 1-0 мм №2, №1, №05.

При виробництві периклазовуглецевих вогнетривів використовують суміш спільного помолу (далі по тексту ССП).

ССП - це суміш тонкомолотого магнезиту з додаванням уротропіну. Після розсіву магнезиту Китай 96 або Китай 97 (97,5) фракція 1-0 мм з додаванням уротропіну підлягає переробці в двокамерному кульковому млині типу СМ 1456.

Необхідна тоніна помолу ССП, вміст фракції менш 0,063 м, досягається шляхом регулювання подачі магнезиту в млин. Склад шихти та зерновий склад ССП наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Склад шихти та зерновий склад ССП

Найменування	Норматив, %	
Магнезит Китай 97 (97,5) плавлений фракції 1-0мм	94	-
Магнезит Китай 96 фракції 1-0 мм	-	94
Уротропін	6	6
Зерновий склад, % Вміст фракції менш 0,063 мм	не менше 93	

Підготовлені сировинні матеріали – компоненти шихти – подаються в ідентифіковані бункера дозування пресою ділянки.

Склад шихти задається на комп'ютері, компоненти шихти дозуються в автоматичному режимі. Приготування маси проводиться в протivotочному змішувачі типу ROTOMIX LX 600. Склад шихти периклазовуглецевих вогнетривів марки ПУКК приведений у таблиці 2.3.

Режим приготування маси при безперервному перемішуванні, послідовність операцій та їх тривалість приведені в таблиці 2.4.

Готова вогнетривка маса повинна бути однорідною, не мати коржів, окатишів.

Маса для виробництва периклазовуглецевих виробів після приготування завантажується у біг-беги та підлягає вилежуванню. Час вилежування маси для виробів ПУКК довжиною до 600 мм – не менш 1 діб; для виробів довжиною 600 мм та більше – не менш 3 діб. Термін зберігання

маси у біг-бегах для виробів ПУКК довжиною до 600 мм – не більш 4 діб;
для виробів довжиною 600 мм та більше – не більше 6 діб. Якісні показники
готової вогнетривкої маси наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 - Склад шихти периклазовуглецевих вогнетривів марки ПУКК

Найменування сировини	Склад шихти, %			
	ПУКК -6	ПУКК -8	ПУКК -9	ПУКК-10
Магнезит Китай 96 фракції 6-3,5 мм	-	10 \pm 2	-	-
Магнезит Китай 96 фракції 3,5-1 мм	-	14 \pm 2	-	-
Магнезит Китай 96 фракції 1-0 мм	-	-	-	-
ССП: Магнезит Китай 96 94% Уротропін 6%	-	-	-	-
Магнезит Китай 97 (97,5) фракції 6-3,5 мм	20 \pm 2	12 \pm 2	20 \pm 2	20 \pm 2
Магнезит Китай 97 (97,5) фракції 3,5-1 мм	44,3 \pm 2	24,3 \pm 2	44,3 \pm 2	44,3 \pm 2
Магнезит Китай 97 (97,5) фракції 1-0 мм	13 \pm 2	13 \pm 2	13 \pm 2	10 \pm 2
ССП: Магнезит Китай 97(97,5) 94% Уротропін 6%	10 \pm 0,5	10 \pm 0,5	10 \pm 0,5	10 \pm 0,5
Графіт Китай FG+ 196	11 \pm 0,5	12 \pm 0,5	8 \pm 0,5	11 \pm 0,5
Алюмінієвий порошок ПА-4	-	3 \pm 0,2	3 \pm 0,2	3 \pm 0,2
Зв'язка Bakelite PF 7052 FL02 (1-ша доза)	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2
Зв'язка Bakelite PF 7052 FL02 (2-га доза) (понад 100%)	1,8 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2

Таблиця 2.4 - Режим приготування маси

Послідовність	Найменування операції	Тривалість, с
1	Завантаження крупнозернистих компонентів фракції 6-3,5 мм, 3,5-1 мм, 1-0мм	15
	Перемішування	20
2	Завантаження зв'язки Bakelite PF 7052 FL02 (1-ша доза)	
	Перемішування	120
3	Завантаження дрібнозернистих компонентів	20
	Перемішування	200
4	Завантаження зв'язки Bakelite PF 7052 FL02 (2-га доза)	
	Перемішування	620
	Загальний час	16 хв 20с

Таблиця 2.5. Якісні показники готової вогнетривкої маси

Найменування показника	Норма для виробів марки			
	ПУКК -6	ПУКК -8	ПУКК -9	ПУКК -10
Масова частка на прокалену речовину, %				
MgO, не менш	93,0	91,0	91,0	91,0
Fe ₂ O ₃ , не більш	1,0	1,0	1,0	1,0
SiO ₂ , не більш	1,0	1,0	1,0	1,0
Al ₂ O ₃ , у межах	-	3,0-5,0	3,0-5,0	3,0-5,0
Масова частка загального вуглецю, (C), % у межах	10,0-14,0	10,0-14,0	5,0-10,0	10,0-14,0
Температура маси, °С	Не менш 30			
Масова частка вологи, %	У межах 1,6-2,0			
Зерновий склад, %				
Вміст фракції більш 6,0 мм	Не більш 1,0			
Вміст фракції менш 0,5 мм	У межах 25-35			
Вміст фракції менш 0,063 мм	У межах 15-30			

Після вилежування маса завантажується у бункер над пресом.

Пресування виробів проводиться на гідравлічних пресах Лайс НРФ-ІІ-1600, Лайс НРФ-ІІІ-2000, Лайс НРФ-ІІІ-2500. Режим пресування виробів ПУКК проводиться у 4 ступені, загальний цикл пресування знаходиться у межах 40-85 секунд. Сила пресування розподіляється на 4 ступені і знаходиться у межах:

I ступінь – 0,6-0,9 кН/см²; II ступінь – 2,6-3,0 кН/см²;

III ступінь – 8,2-9,0 кН/см²; IV ступінь – 15,0-17,0 кН/см²

та залежить від габаритних розмірів формованих виробів які знаходяться у межах: довжина 300-975 мм, ширина 100-150 мм; кількості одночасно формованих виробів один або два. Швидкість пресування не більш 7 мм/с.

Форма та розміри пресованого виробу повинні відповідати вимогам нормативних документів з урахуванням величини коефіцієнту усадки виробів при термообробці.

Пресований виріб повинен мати гладку поверхню, не мати тріщин, посічок, впадин, раковин, відбитостів, ознак спущеності та сторонніх включень. В зламі пресований виріб повинен мати однорідну будову без пустот, тріщин та розшарування. Уявна щільність пресованого виробу залежить від довжини. Вироби ПУКК довжиною до 600 мм повинні мати уявну щільність не менш $2,92 \text{ г/см}^3$, якщо довжина виробів 600 мм та більш уявна щільність не менш $2,90 \text{ г/см}^3$.

Пресований виріб, який відповідає усі вимогам, висаджують на рамкові вагонетки відповідно до схем садок. Садка на рамки з кривизною більш 1 мм не допускається.

Далі вироби підвергаються термічній обробці.

Термічна обробка периклазовуглецевих виробів проводиться в тунельних сушилах на рамкових вагонетках.

Ємність тунелю 24 вагонетки. Розміри тунелю: довжина 30,6 м, ширина 0,95 м, висота 1,65 м (від рівня головки рейки).

Рамкові вагонетки заштовхують зі сторони холодного кінця сушила (позиція №1).

В якості теплоносія є гаряче повітря яке нагрівається теплогенератором «Крон -6/8». Подача теплоносія в сушило здійснюється через розподільний боров, розташований у поду сушила на позиції №24. У тунелі протитечійний рух пресованого виробу та теплоносія.

Термообробка залежить від марки виробу та ведеться по режиму:

- температура теплоносія на позиції № 1 не більш $100 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура на позиціях № 21-23 у межах $180\text{--}200 \text{ }^\circ\text{C}$;
- витримка виробів при максимальній температурі та інтервал проштовхування наведені у таблиці 2.6.

Тунельне сушило заповнюється з 1 по 24 позицію, після заповнення подається теплоносій. При досягненні температури $180^\circ - 200^\circ\text{C}$ роблять витримку 4 або 8 годин, потім проштовхування через 1 або 2 години (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 - Витримка виробів та інтервал прошовхування

Марка виробу	Витримка виробів при максимальній температурі 180° – 200°С	Інтервал прошовхування, годин
ПУКК довжиною до 600 мм	4 години	1
ПУКК довжиною 600 мм та більше	8 годин	2

Після термообробки вироби на рамкових вагонетках охолоджують до температури не більше 40°С.

Вироби сортують та вкладають у пакети на піддони. Пакети ув'язують, упаковують та відвантажують споживачу.

2.2 Опис основного технологічного обладнання

2.2.1 Технічна характеристика планетарного змішувача

Змішувач призначений для приготування різних напівсухих мас з розміром частинок до 6 мм і вологістю до 16%.

Змішувач має високу інтенсивність перемішування в самих різних випадках застосування і забезпечує таким чином досягнення високої гомогенності суміші за найкоротший час, навіть при переробці безлічі компонентів або при застосуванні компонентів в дуже незначних дозах.

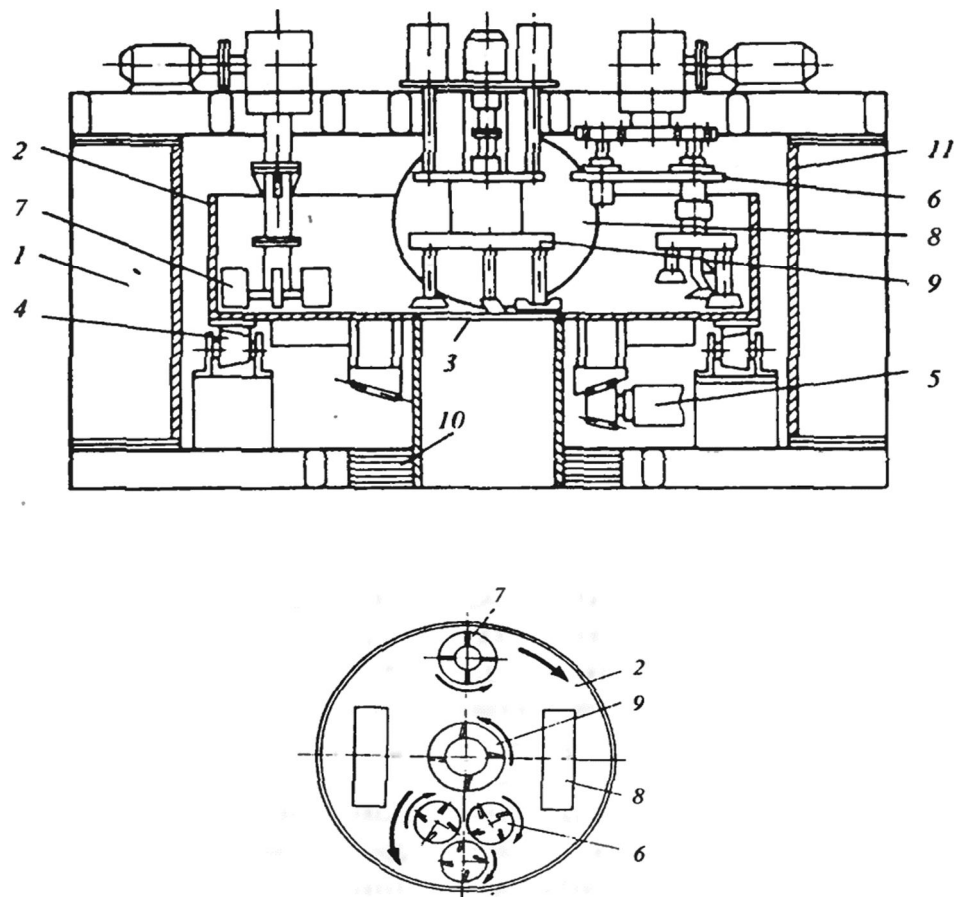
Технічні характеристики змішувача.

Обсяг завантаження, м ³	0,25
Діаметр чаші, мм	1200
Діаметр катка, мм	500
Ширина катка, мм	140
Число розпушувачів, шт.	3
Частота обертів, об/хв	
центрального розпушувача	220
приводного валу планетарного механізму	100
Потужність електроприводу, кВт	
чаші	7,5
розпушувача	4

планетарного механізму	7,5
Габаритні розміри, мм	
довжина	2800
ширина	2000
висота	2500
Температура нагріву чаші, °С	150
Маса, кг	4000

Обсяг змішувача повинен відповідати масі завантаженого в нього матеріалу, час змішування в межах 10...16 хв.

Пристрій планетарного змішувача і схема руху робочих органів показана на рисунку 2.2.



1- рама; 2 – чаша, що обертається; 3 – розвантажувальний люк; 4 – опорні ролики; 5 – привід чаші; 6 – планетарний механізм; 7 – розпушувач; 8 – ковзанки; 9 – центральний розпушувач; 10 – токопідвод; 11 – кожух

Рисунок 2.2 – Планетарний змішувач

2.2.2 Технічна характеристика пресу гідравлічного

Прес гідравлічний спеціальний для вогнетривких виробів зусиллям 2000 кН фірми «Лайс» (рис.2.3-2.4) призначається для виготовлення вогнетривких виробів високої щільності з сипучих напівсухих вогнетривких мас.

Найбільші розміри вікна в прес-формі допускається 900x500 мм

Найбільша висота заповнення прес-форми допускається 500 мм.



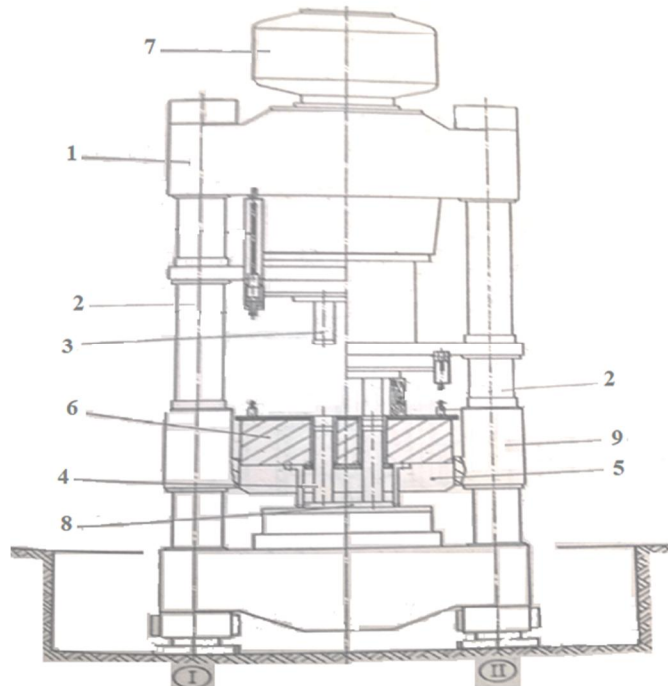
Рисунок 2.3 - Прес гідравлічний зусиллям 2000 кН фірми «Лайс»

Процес виготовлення виробів після завантаження преса масою повністю автоматизований, включаючи укладання готового виробу на приймальний транспортер або стіл.

Управління пресом, здійснюється за допомогою системи програмного управління, забезпечує:

- автоматичне регулювання висоти засипки за заданим алгоритмом з необхідним допуском розмірів по висоті засипки;
- вимір висоти відпресованих виробів з точністю $\pm 0,1$ мм;
- світлову мнемосхему з покажчиком діагнозу несправностей;

- контролем послідовності виконання операцій і відносного положення робочих вузлів преса, а також цифровою індексацією основних параметрів.



1 – станина; 2 – колони; 3 – верхній штампотримач зі штампом; 4 – нижній штампотримач зі штампом; 5 – рама прес-форми; 6 – засипний ящик; 7 – головний циліндр пресування; 8 – циліндри виштовхування; 9 – нижня траверса

Рисунок 2.4 – Схема гідравлічного преса

Максимальна продуктивність преса при розмірах виробів 250x125x65 мм, без вентиляції з автоматичним заповненням і витяганням становить 4 пресування в хвилину.

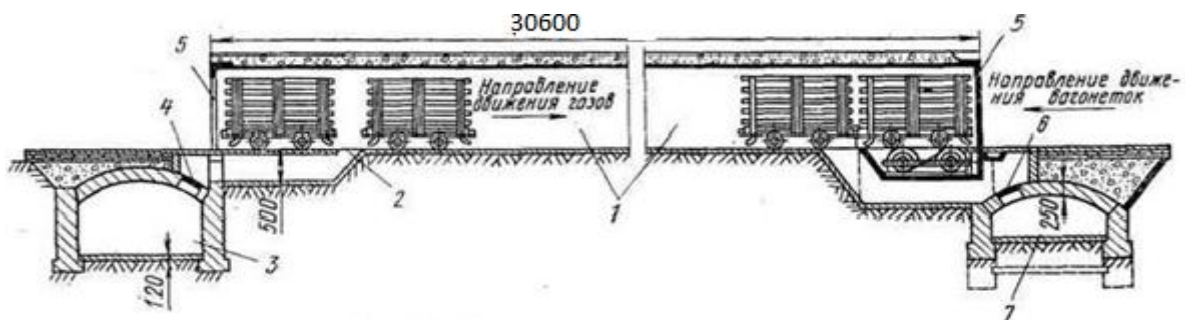
Принцип дії преса такий: при опусканні верхніх пуансонів в прес-форму відбувається пресування верхніх шарів порошку і одночасно під дією циліндрів виштовхування переміщається нижня траверса з прес-формою, яка посувається на нижні пуансони. Так відбувається пресування нижніх шарів порошку і таким чином здійснюється двостороннє пресування порошку в прес-формі. Для виштовхування відпресованих виробів нижня траверса відпускається в нижнє положення під дією циліндрів виштовхування, а для захоплення виробів знімачами необхідно, щоб верхня площина штемпельною пластини нижнього пуансона на 10 мм виступала з отвору прес-форми.

Система управління пресом здійснена із застосуванням мікропроцесорного програмованого контролера, має світлову мнемосхему з показником діагнозу несправностей. Управління пресом в основному зосереджено на пульті управління і щитах управління.

2.2.3 Технічна характеристика і принцип дії тунельного сушила

Для сушіння різних вогнетривких виробів широко застосовуються тунельні сушила, в яких матеріал транспортується по рейковому шляху на поличних вагонетках невеликих розмірів.

Тунельні сушила (рис. 2.5) призначені для сушки безобпалювальних виробів, попередньої сушки обпалених виробів та термобробки периклазовуглецевих виробів.



1- камера-тунель; 2- рейковий путь; 3- приточний канал; 4, 6 – заслінки; 5- двері;
7 – витяжний канал

Рисунок 2.5 - Тунельні сушила

Технічні характеристики тунельних сушил.

Ємність тунелю - 24 вагонетки. Розміри тунелю: довжина 30,6 м, ширина 0,95 м, висота 1,65 м (від рівня головки рейки).

Для подачі повітря в сушило встановлено нагнітаючий вентилятор Ц-4-70 №10, двигун якого має потужність 30кВт та кількість обертів 700 об/хв. Для оборотів відпрацьованого повітря встановлені вентилятори ВЦ-14-46 №8 потужністю 55кВт та кількістю обертів 980 об/хв.

Окремі тунелі згруповані в блок, який об'єднує 5 тунелів. Такий блок має спільний розподільчий борів подачі та відбору теплоносія.

Стіни сушил викладені із будівельної цегли, перекриття - плоска залізобетонна плита. З метою зменшення втрат тепла в зовнішнє середовище, поверх плити викладені ізоляційна засипка і червона цегла на плашку.

На вхідному та вихідному кінцях тунелів влаштовані двері. Джерелом тепла є гаряче повітря, яке відбирається із зони охолодження тунельної печі і подається з одного кінця тунелю (зі входу вагонеток) і рухається по ньому горизонтальними потоками до протилежного кінця, де видаляється пиловідводним вентилятором. Також джерелом тепла є теплоносії який отримують із суміші повітря з продуктами повного згоряння газоподібного палива одержуваного за допомогою теплогенератора сушильного агента КРОН-6/8. Прощтовхування складу здійснюється штангою лафета. У тунелі відбувається протитечійний рух сирцю і теплоносія обробки.

Спочатку, при вході вагонетки в тунель, сирець підігрівається, не потрапляючи під потік теплоносія. При просуванні вперед на одну вагонетку сирець омивається охолодившимся теплоносієм, що йде з тунелю. У міру просування вагонетки і підсихання сирець зустрічається з більш гарячим і сухим теплоносієм, що підвищує інтенсивність сушки. Перед виходом вагонетки з тунелю нагрітий сирець, що не омивається теплоносієм, встигне трохи охолотитися всередині тунелю.

2.3 Висновки

Периклазовуглецеві вогнетриви (ПУ) - це безобпалювальні вироби, сформовані під високим тиском. Шихтовими матеріалами для виробництва ПУ-вогнетривів для футеровки кисневих конвертерів є магнезит спечений і плавлений (вміст MgO 96-97,5%) фракцій 6-3,5 мм; 3,5-1 мм і 1-0 мм; суміш спільного помолу з магнезиту (фр. 1-0 мм) і 6% уротропіну; графіт FG+ 196 (8-11%); алюмінієвий порошок ПА-4 (3%); в'язуче Bakelite PF 7052 FL02 (3,5 % понад 100%).

3 ОСНОВНА ЧАСТИНА

3.1 Теоретичне обґрунтування вирішення постановленої задачі

На підставі аналізу літературних даних встановлено, що найбільш ефективним і економічно вигідним способом зменшення вигорання вуглецю в периклазовуглецевих вогнетривах в умовах високих температур є використання антиокислюючих добавок. Причому з метою стабілізації вуглецю в широкому температурному інтервалі доцільно використовувати комплексні антиокислюючі добавки, які вміщують різні види антиоксидантів, антиокислюючий ефект дії яких виявляється в конкретному температурному інтервалі.

З метою визначення впливу комплексних антиокислюючих добавок на процеси зниження вигорання вуглецю доцільно провести наукові дослідження спрямовані на розробку складу ефективної антиокислюючої добавки в периклазовуглецеві маси, яка зменшить окислення вуглецю в широкому інтервалі температур.

Для дослідження поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- визначення залежності показників властивостей периклазовуглецевих зразків і ступеню вигорання вуглецю від виду антиокислювальної добавки;
- оптимізація складу комбінованого антиоксиданту.

3.2 Характеристика сировинних матеріалів та методів проведення досліджень

Для проведення досліджень використовували наступні сировинні матеріали: периклаз (виробництво Китай), графіт (Україна), фенольна зв'язка – бакеліт і полімерізуюча добавка гексаметилентетрамін (уротропін), антиоксиданти.

Периклазовий порошок характеризується вмістом MgO – 97,2 %, CaO – 1,12 %, SiO_2 – 0,95, Fe_2O_3 – 0,73 %.

Графіт марки ГЭ [30] згідно до вимог нормативно-технічної документації відповідає наступним показникам: зольність – не більше 10 %, вміст вуглецю – не менше 89 %, вихід летючих – не більше 10 %; залишок на ситі № 016 – не більше 40 %, залишок на ситі № 063 – не більше 25 %.

Уротропін – затверджувач, що сприяє зміцненню структури фенольної зв'язки за рахунок того, що він надає додаткової метиленової групи і активізує полімеризацію бакелітової зв'язки.

Зв'язуюче – бакеліт відноситься до новолачних фенолформальдегідних смол і представляє собою в'язку рідину темно-коричневого кольору. При нагріванні бакеліт переходить в нерозчинну і неплавку форму.

В дослідженнях використовували бакеліт марки БЖ – 1 (ГОСТ 4559-78) [30] з наступними технічними характеристиками: масова частка вільного фенолу – 6 – 12 %; в'язкість умовна – 50 – 150 с; масова частка води не більше – 7 – 22 %; втрати при поліконденсації – 15 – 22 %.

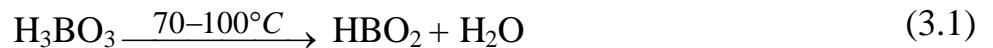
В якості антиокислюючих добавок обрано: алюмінієву пудру (алюміній металічний $AL^{мет}$), кремній металічний (Si.), карбід кремнію (SiC), борну кислоту [32].

Борна кислота (H_3BO_3) представляє собою білі кристали лускатої форми щільністю $1,48 \text{ г/см}^3$. Згідно до ГОСТ 18704 -78 «Борна кислота» характеризується масовою часткою H_3BO_3 – 99,6 %, залишком на ситі № 04 – не менше 3 % [33]. При нагріванні до $170 \text{ }^\circ\text{C}$ – розкладається. При нагріванні до $70 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$ борна кислота зневоднюється з утворенням метаборної кислоти HBO_2 і при подальшому нагріванні зневоднюється з утворенням борного ангідриду B_2O_3 .

Метаборна кислота представляє собою скловидну речовину и при подальшому нагріванні за рахунок дегідратації утворюється B_2O_3 . Оксид бору (ангідрид борної кислоти) це безколірна скловидна або кристалічна речовина. Скловидний B_2O_3 має лускату структуру і плавиться в інтервалі

температур 325 – 450 °С. Кристалічний оксид бору утворюється при обережному відщепленні води від метаборної кислоти. Борний ангідрид може утворюватися при швидкому прожарюванні борної кислоти при 580 °С [32].

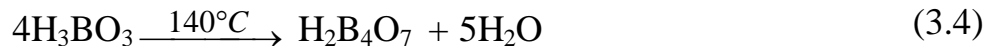
Таким чином, термічні процеси перетворень H_3BO_3 можна представити наступним чином:



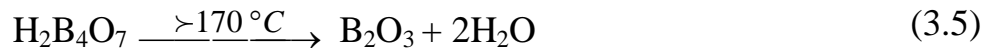
- сумарна реакція



- при тривалому нагріванні



$\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – тетраборна або піроборна кислота.



Кремній металічний Si представляє собою темно-сірі кристали з металічним блиском щільністю 2,33 г/см³ і температурою плавлення 1415 °С. Згідно до ГОСТ 2169 -69 марки Кр 3 (чорний) масова частка Si – 99,0 % (домішки заліза, алюмінію, кальцію 0,4 %, 0,3 %, 0,4 % відповідно) [34].

Кремній має кубічну гранецентровану кристалічну решітку типу алмазу, і за причин значної довжини зв'язку між атомами Si – Si у порівнянні з C – C, твердість кремнію менша ніж у алмазу. Кремній крихкий матеріал і становиться пластичним при нагріванні вище 800 °С.

При нагріванні до температур 400 – 500 °С реагує з киснем з утворенням SiO_2 , тобто окислюється киснем [32].

Алюмінієва пудра – тонкоподрібнений алюміній металічний марки ПАП – 1 представляє собою продукт срібно-сірого кольору з частинками пластинчастої форми товщиною 0,25 – 0,5 мкм і середнім розміром 20 – 30

мкм, які покрито тонкою оксидною плівкою. Згідно ГОСТ 5494 – 95 [35] масова частка домішок заліза, кремнію, міді, марганцю – не більше 0,22 – 0,5 %, 0,16 - 0,40 %, 0,02 – 0,05 %, 0,007 – 0,03 % відповідно. Алюмінієва пудра характеризується температурою плавлення 658 °С, щільністю 2,7 г/см³; легко реагує з киснем і швидкість окислення залежить від температурних умов. Алюміній металічний характеризується значною хімічною активністю; енергія утворення його сполучень з киснем і вуглецем велика. Під час окислення алюмінію виділяється тепло.

Для проведення досліджень готували вогнетривку масу, наступного складу:

- периклаз фр. 3 - 1 мм – 50 %;
- периклаз фр. 1 – 0 мм – 20 %;
- периклаз фр < 0,088 мм – 20 %;
- графіт – 10 %.

Кількість зв'язуючого (бакеліту) складала 4 % (понад 100 %), а кількість уротропіну, що вводилась у бакеліт дорівнювала 10 % від маси антиоксиданту.

Підготовка периклазу фр. < 0,088 мм здійснювалась на вібростирачі; термін помелу – 15 хв., залишок на ситі № 063 – не більше 2 %.

Антиокислюючі добавки вводили у склад маси за рахунок зменшення кількості тонкомеленого периклазу.

Приготування периклазовуглецевої маси здійснювали за наступним режимом:

- завантажування периклазу фр. 3-1 мм і 1-0 мм, перемішування – 1 хв.;
- заливка 2/3 бакеліту, перемішування – 4 хв.;
- завантаження графіту, перемішування – 3 хв.;
- завантаження антиоксиданту, перемішування – 3 хв.;
- заливка 1/3 бакеліту, перемішування – 1 хв.;
- завантаження тонкомеленого периклазу, перемішування – 5 хв.;

Загальний цикл приготування вогнетривкої маси складав – 17 хв. Пресування зразків діаметром 36 мм і висотою 50 мм здійснювали на лабораторному пресі при тиску пресування 100 Н/мм². Уявну щільність свіжосформованих зразків визначали за стандартною методикою [36]. Після формування експериментальні зразки вилежувалися на повітрі при кімнатній температурі і після цього термооброблялися у сушильній шафі за наступними параметрами:

- швидкість підйому температури – 25 – 35 °С/год.;
- нагрів протягом – 8 годин;
- витримка при максимальній температурі 195 – 200 °С – 4 години;
- охолодження 8 – 10 годин.

Показники властивостей експериментальних зразків: уявна щільність, відкрита пористість, границя міцності при стиску визначалися за стандартними методиками [36].

Високотемпературний випал проводили в електропечі при температурі 1000 °С і 1400 °С зі швидкістю нагрівання 250 °С/год і витримкою при максимальній температурі 2 години.

Після визначення показників проводиться випал для визначення ступеню окислення досліджуваних зразків з антиоксидантами і без них.

В якості критеріїв оцінки ефективності антиоксидантів використовували показник відносного змінення маси, що розраховується за формулою [11]:

$$\Delta m = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \cdot 100\% , \quad (3.6)$$

де Δm – відносне змінення маси;

m_0, m_1 – маса зразка до і після випалу відповідно.

Окислювання периклазовуглецевих зразків оцінювали за ступенем окислення, розрахованою за формулою [11]:

$$\Delta S = \frac{S_{\text{зневугл}}}{S_{\text{заг}}} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

де ΔS – ступінь окислення, %;

$S_{\text{зневугл}}$ – площа зневугльцюваного шару (в розрізі), см^2 ;

$S_{\text{заг}}$ – площа зразка (в перерізі), см^2 .

3.3 Дослідження впливу антиоксидантів на показники властивостей периклазовуглецевих зразків і ступінь вигоряння вуглецю

Для проведення досліджень формували периклазовуглецеві зразки із мас без антиокислюючих добавок і з антиоксидантами. В якості антиоксидантів використовували індивідуальні добавки алюмінієвої пудри (Al), кремнію металічного (Si), карбїду кремнію (SiC) і борної кислоти H_3BO_3 (B). Добавки виду Al, Si, SiC вводили в периклазовуглецеву масу в кількості 4 %; борну кислоту в кількості 2 % (в перерахунку на B_2O_3).

З метою визначення сумісної дії вищезначених добавок в склад вогнетривкої маси вводили комплексні добавки в кількості 4 % у відповідному співвідношенні Al : Si = 1 : 1; Al : SiC = 1 : 1; Al : B = 1 : 1; Si : B = 1 : 1; SiC : B = 1 : 1; Al : Si : B = 1 : 1 : 1; Al : SiC : B = 1 : 1 : 1.

Із периклазовуглецевих мас вологістю 1,2 % формували зразки, визначали їх щільність, піддавали вилежуванню на повітрі протягом 3 діб і термообробляли при максимальній температурі 195-200 °С. Результати визначення щільності сирцю і показників властивостей периклазовуглецевих зразків після термічної обробки наведено в таблиці 3.1.

Результати визначення уявної щільності сирцю периклазовуглецевих зразків (рисунок 3.1) показують, що щільність свіжосформованих зразків без антиоксиданту і з добавками знаходиться в межах 2,71–2,80 г/см^3 , крім зразків з металічним кремнієм, щільність яких складає 2,53 г/см^3 .

Слід зазначити, що введення в периклазовуглецеві маси добавок кремнію металічного і борної кислоти погіршує ущільнення маси при пресуванні, що супроводжується зниженням уявної щільності сирцю у

порівнянні з цим показником для зразків без антиоксиданту на $0,26 \text{ г/см}^3$ $0,04 \text{ г/см}^3$ відповідно. Найкраще ущільнення маси відмічено при використанні комплексної добавки алюмінію і кремнію металічного $2,80 \text{ г/см}^3$. Слід зазначити, що комплексні добавки, які містять у своєму складі борну кислоту, мали уявну щільність сирцю в межах $2,71 - 2,75 \text{ г/см}^3$.

Таблиця 3.1 – Показники властивостей сирцю і термооброблених периклазовуглецевих зразків

№ з/п	Антиоксидант	$\rho^c, \text{ г/см}^3$	Після термообробки		
			$\rho^c, \text{ г/см}^3$	П, %	$\delta, \text{ Н/мм}^2$
1	-	2,79	2,77	9,49	27
2	Al	2,77	2,79	6,57	31
3	Si	2,53	2,57	11,95	20
4	SiC	2,80	2,78	9,32	27
5	B	2,75	2,69	10,54	19
6	Al + Si	2,80	2,77	8,84	27
7	Al + SiC	2,78	2,77	9,09	31
8	Al + B	2,72	2,72	9,93	17
9	Si + B	2,72	2,72	10,75	15
10	SiC + B	2,73	2,73	10,99	14
11	Al + Si + B	2,71	2,71	10,37	17
12	Al + SiC + B	2,75	2,75	9,80	18

При низькотемпературній термічній обробці периклазовуглецевих зразків процеси видалення фізичної вологи, полімеризації бакеліту супроводжувалися ущільненням маси зразків і значення їх уявної щільності суттєво не змінилися або знаходились а рівні щільності сирцю (рисунок 3.2). Уявна щільність термооброблених зразків з добавкою борної кислоти зменшилась на $0,06 \text{ г/см}^3$ у порівнянні з сирцем, що обумовлено дегідратацією борної кислоти (див. рис.3.2, а).

Незважаючи на те, що при низькій температурі термообробки, не протікають фізико-хімічні процеси взаємодії добавок з компонентами периклазовуглецевої маси, присутність антиоксидантів в масі впливає на змінення відкритої пористості і механічної міцності зразків, і певною мірою характеризує ступінь ущільнення периклазовуглецевої маси в процесі пресування (рисунок 3.3). Так, введення в масу тонкодисперсної добавки алюмінієвої пудри сприяє підвищенню ефективності процесів пресування, обумовлює досягнення мінімальної пористості зразків – 6,57 % (див рис. 3.3, а), що на 5,38 – 2,27 % нижче ніж пористість зразків з іншими антиоксидантами.

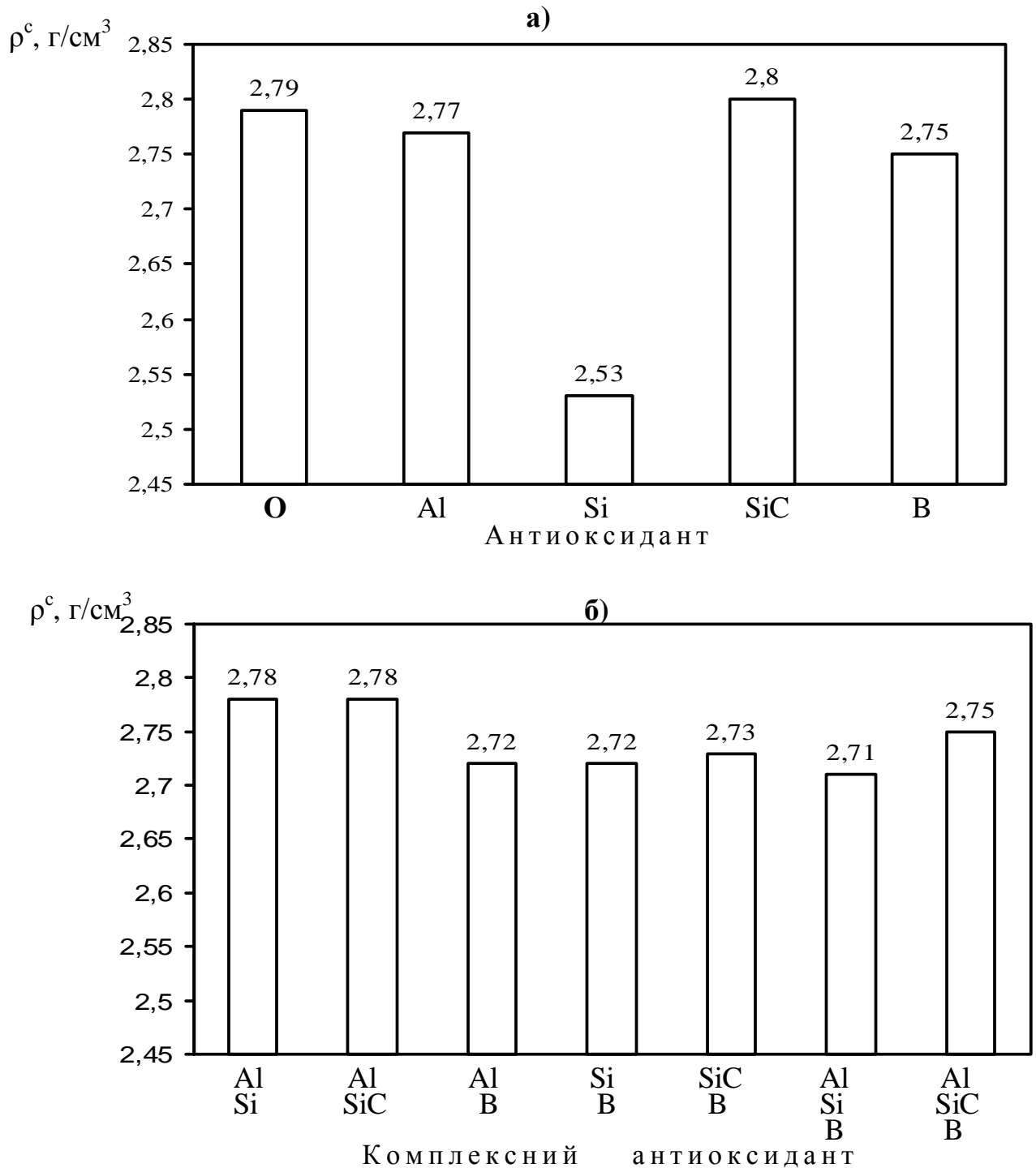
Використання індивідуальних добавок антиоксидантів кремнію металічного і борної кислоти у складі периклазовуглецевої маси супроводжується зростанням пористості зразків до 11,95 і 10,54 %, що вище на 2,46 і 1,05 % пористості зразків без добавок.

Введення в периклазовуглецеву масу комплексних добавок, які містять Si, SiC та алюмінієву пудру, і за рахунок присутності останньої, мають пористість 8,84 % і 9,09 %, що вище на 2,27 % і 2,52 % пористості зразків з алюмінієвою пудрою, але нижче на 3,11 % і 0,23 % ніж пористість зразків з добавкою Si та SiC.

Всі периклазовуглецеві зразки, що містять комплексні добавки з H_3BO_3 , відрізняються підвищеною пористістю в межах 9,93 – 10,99 % у порівнянні з індивідуальними добавками. Це свідчить про те, що використання борної кислоти негативно впливає на процеси ущільнення вогнетривких мас при пресуванні, і крім того, дегідратація H_3BO_3 в процесі термообробки зразків сприяє розпушенню зразків і підвищенню їх відкритої пористості.

За умов описаних вище причин змінення відкритої пористості периклазовуглецевих зразків з різними видами антиоксидантів механічна міцність зразків залежить від виду добавок (рисунок 3.4). найбільшою механічною міцністю 31 Н/мм² відрізняються експериментальні зразки з

добавкою алюмінієвої пудри і комплексною добавкою, яка вміщує Al і SiC, що на 14,8 % вище ніж міцність периклазовуглецевих зразків без антиоксиданту.



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
O – без добавки

Рисунок 3.1 – Уявна щільність свіжосформованих периклазовуглецевих зразків

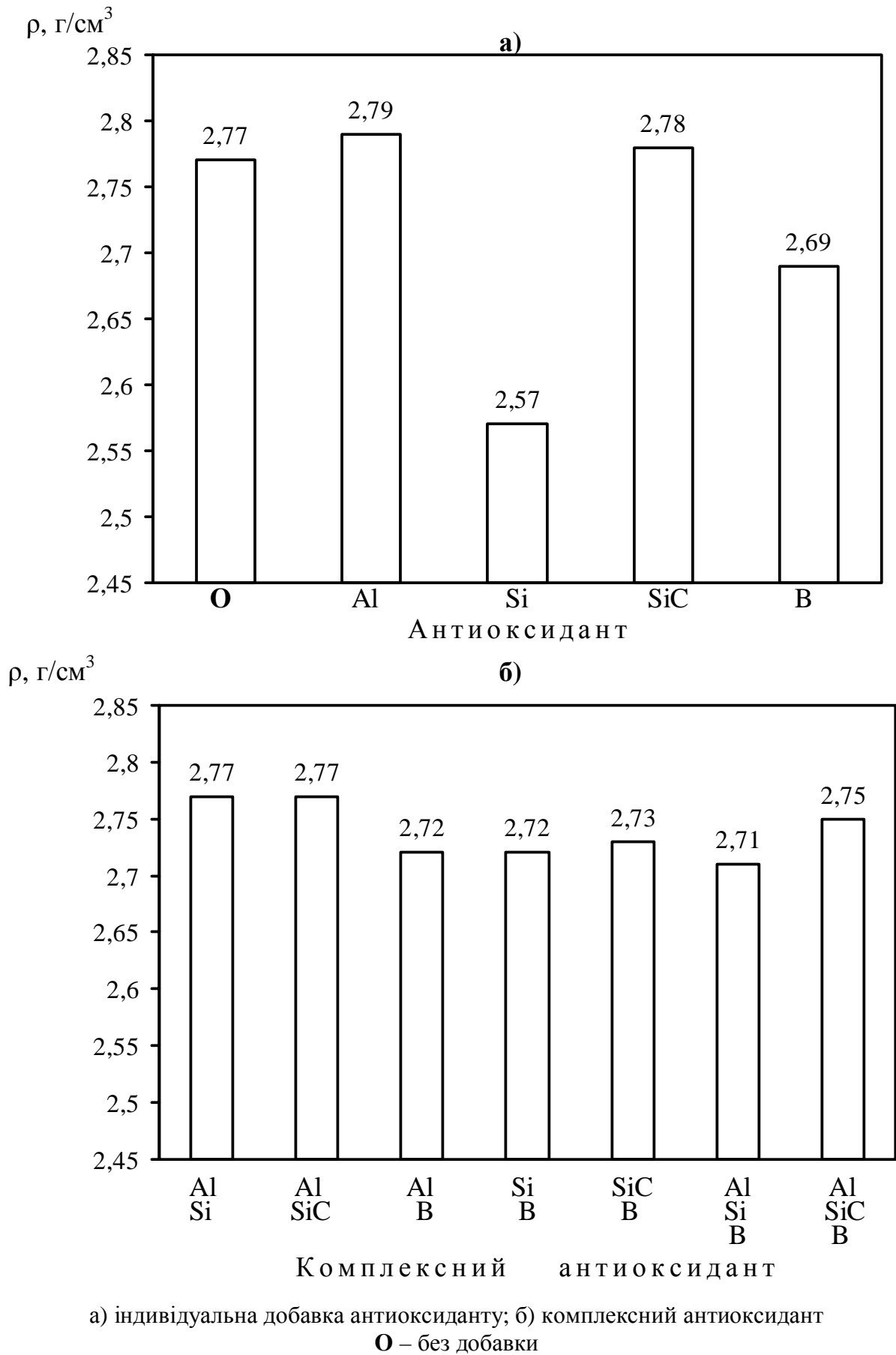
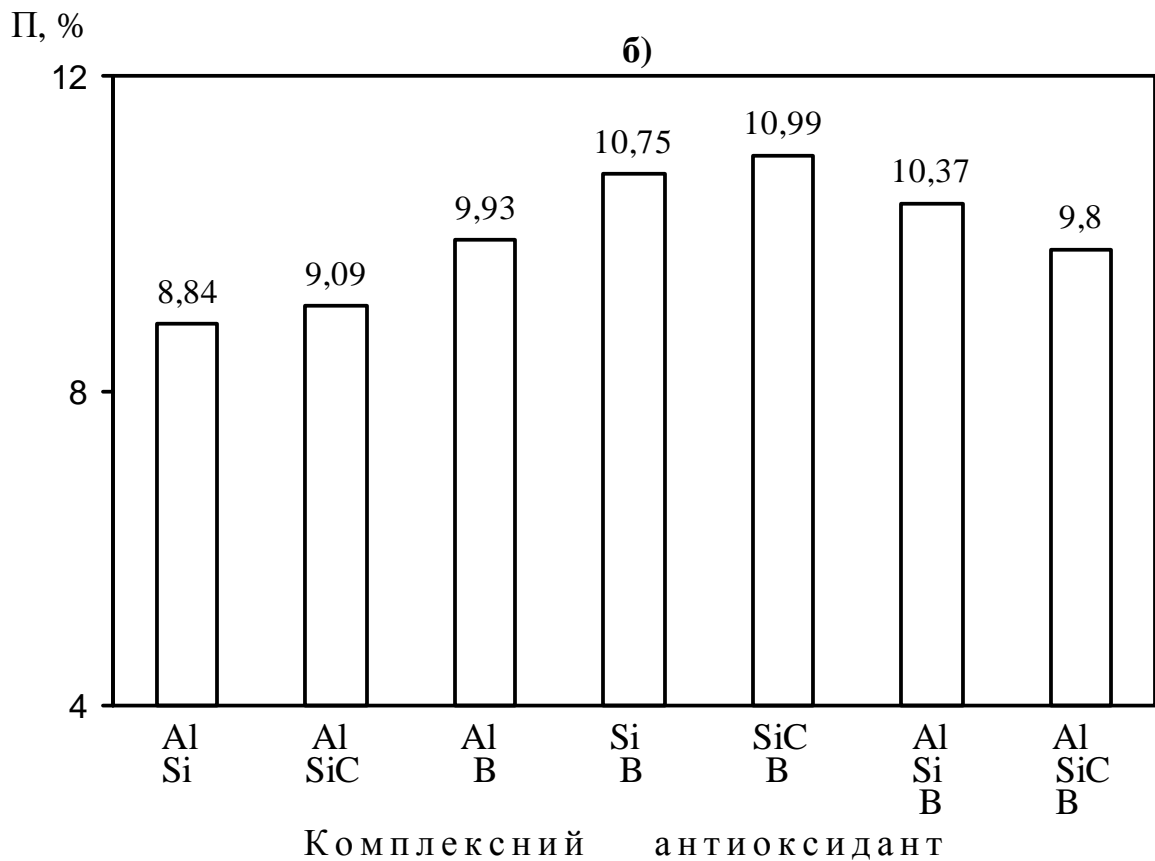
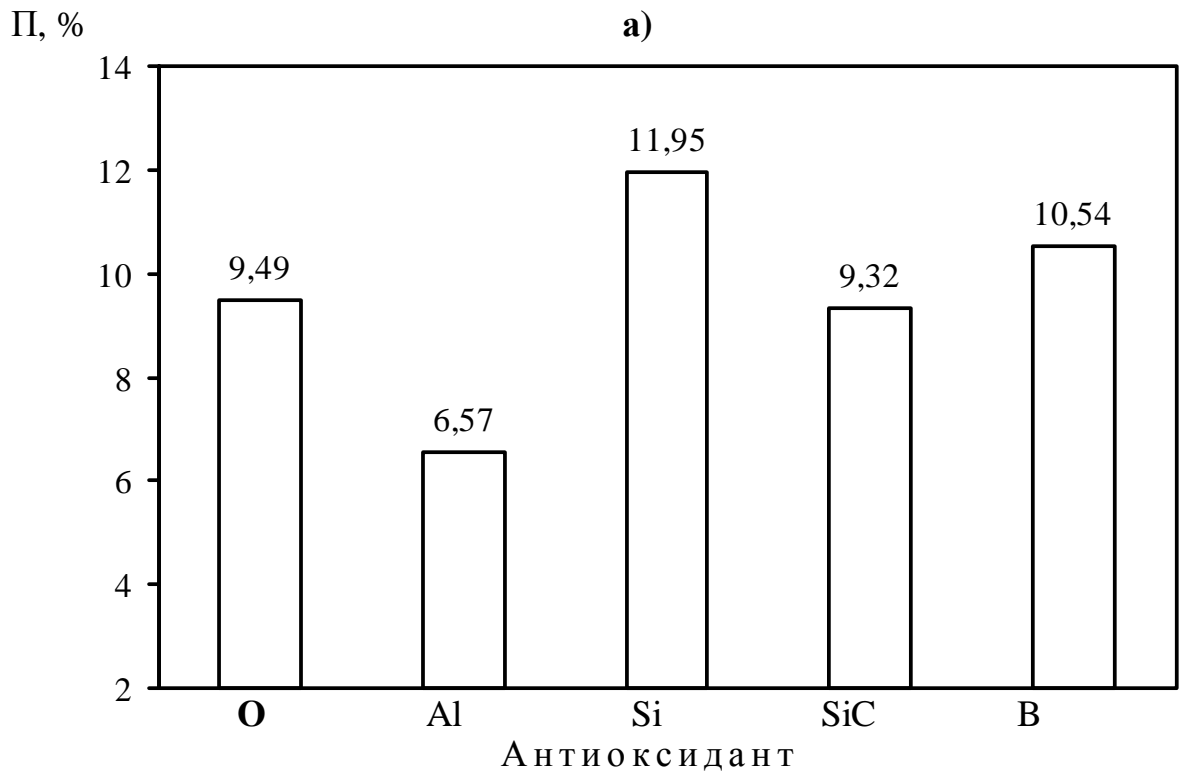
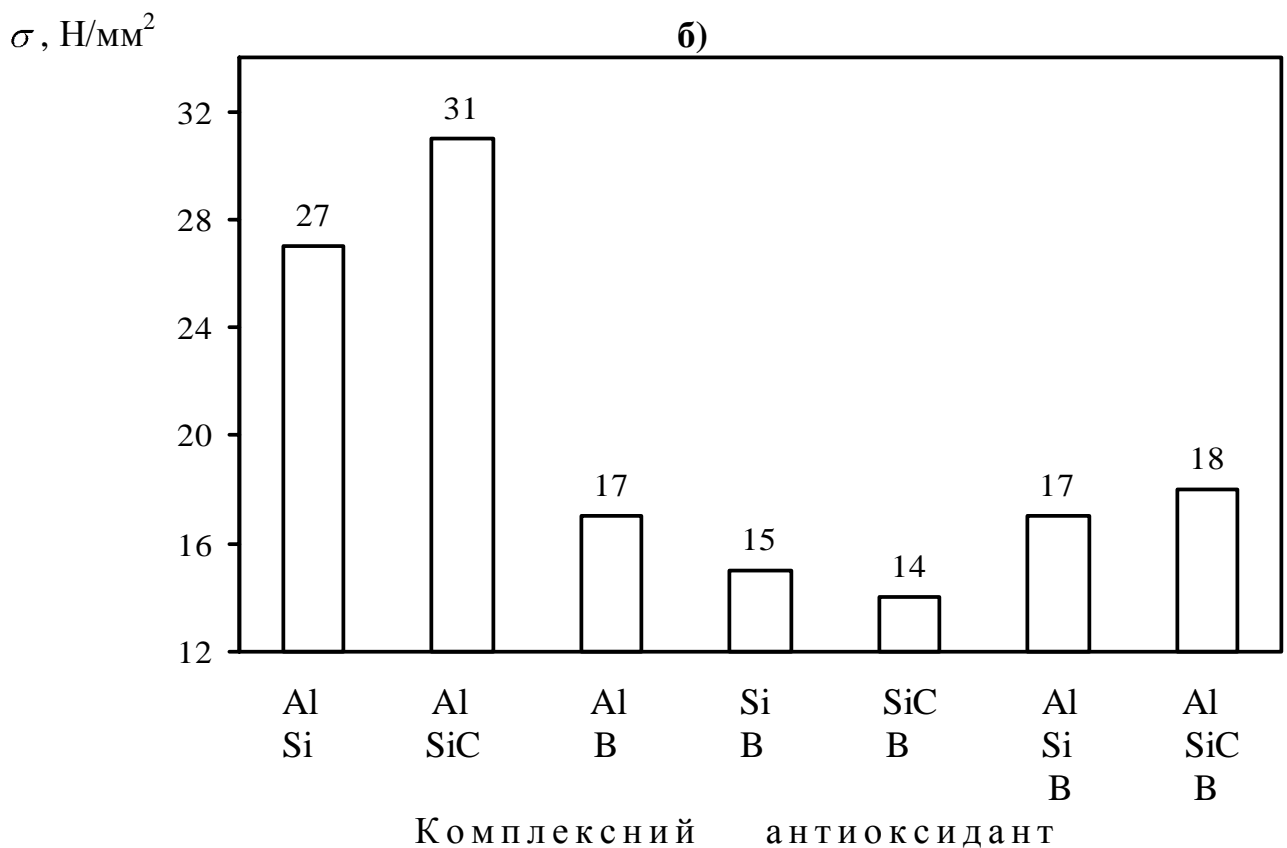
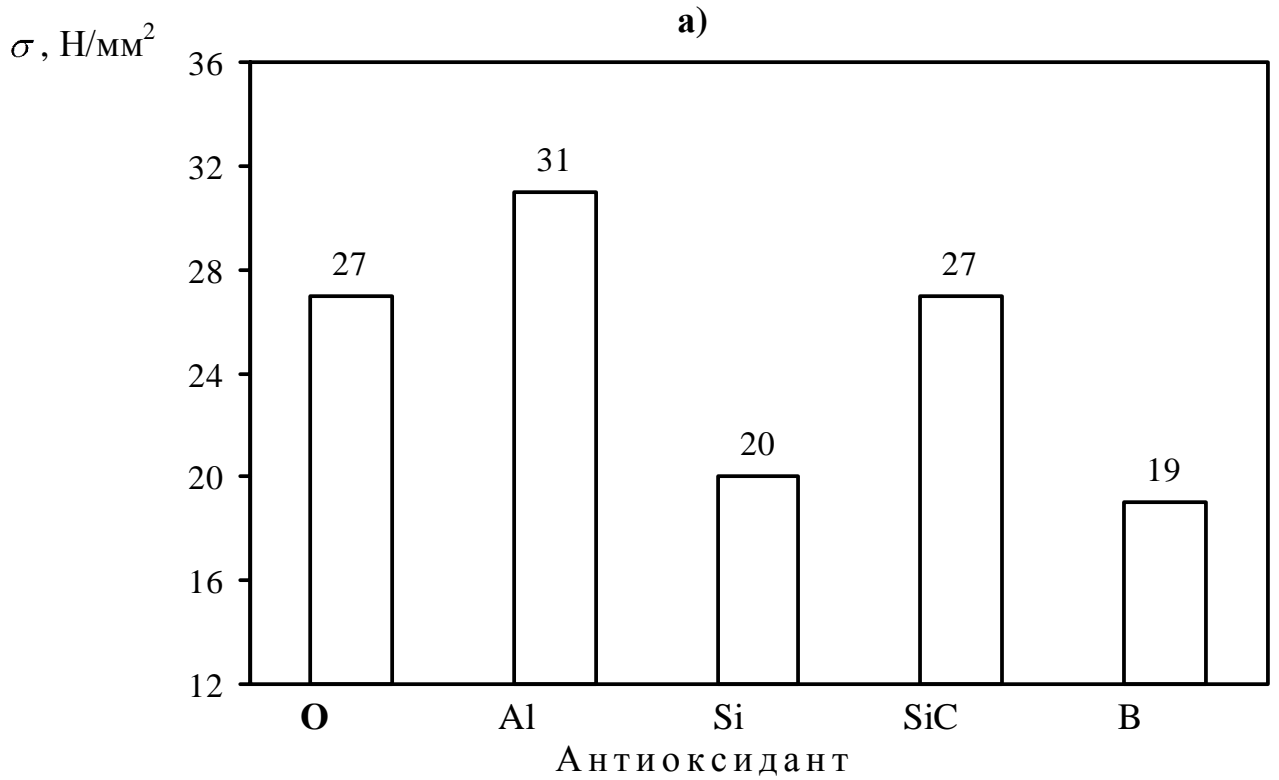


Рисунок 3.2 – Уявна щільність термооброблених периклазовуглецевих зразків



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 О – без добавки

Рисунок 3.3 – Відкрита пористість периклазовуглецевих зразків після термічної обробки



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 O – без добавки

Рисунок 3.4 – Границя міцності при стиску периклазовуглецевих зразків після термічної обробки

Використання в якості добавок металічного кремнію, борної кислоти і комплексних добавок, які містять борну кислоту, призводить до погіршення міцності зразків на 7 - 13 Н/мм² у порівнянні зі зразками без добавок (див. рис. 3.4, а), що пов'язано з розпушенням структури зразка за рахунок інтенсивної дегідратації кислоти.

Це пояснюється фізичними властивостями антиокислюючих добавок (їх твердістю, крихкістю) розмірами частинок і ступенем ущільнення периклазовуглецевих мас при пресуванні.

З метою визначення впливу антиокислюючих добавок на ступінь вигорання вуглецю експериментальні термооброблені периклазовуглецеві зразки випалювали при температурі 1000 °С і 1400 °С з витримкою 2 години. Результати визначення втрат маси, ступеню зневугльцювання зразків наведено в таблиці 3.2.

Аналіз отриманих даних свідчить про суттєвий вплив температури випалу на властивості периклазовуглецевих зразків. Загальною тенденцією є негативне зміння властивостей периклазовуглецевих зразків з підвищення температури випалу: зниження уявної щільності і механічної міцності, підвищення відкритої пористості, що пов'язано з деструкцією бакелітової зв'язки, вигоранням вуглецю і відсутністю процесів спікання в інтервалі температур 1000 - 1400 °С.

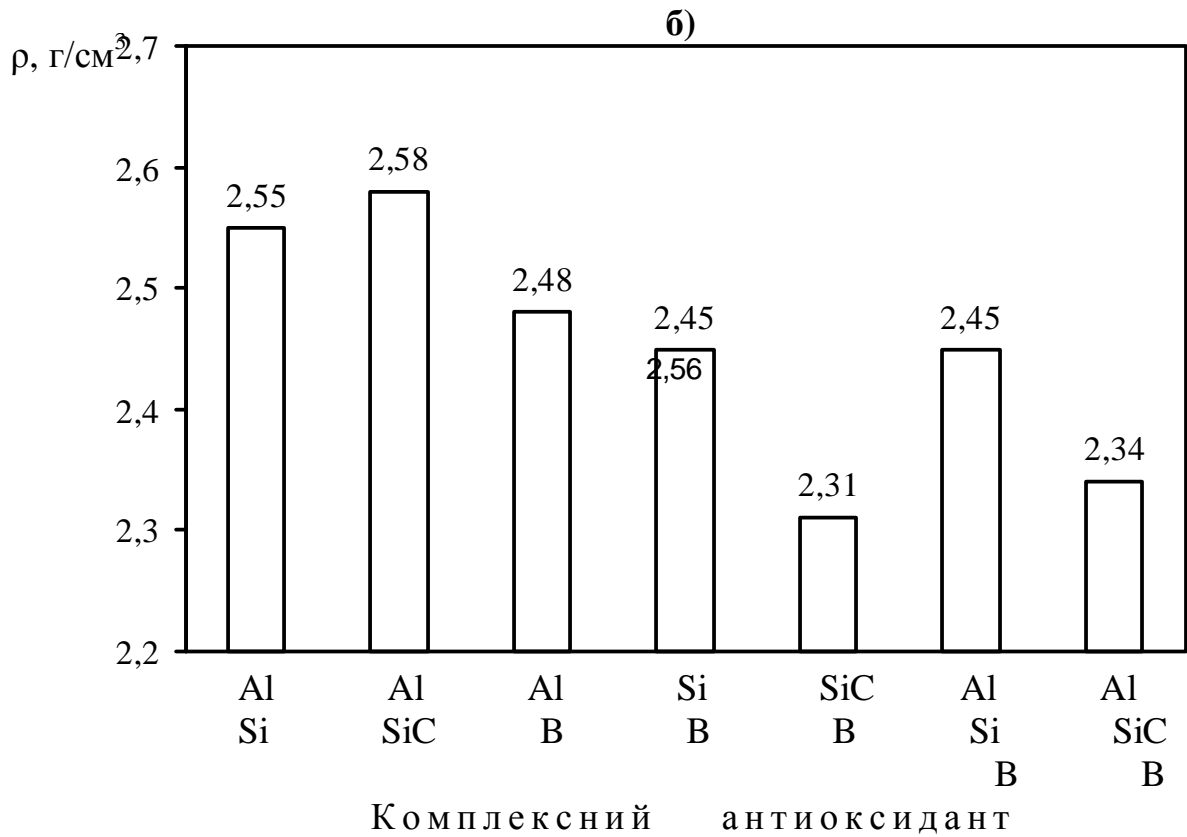
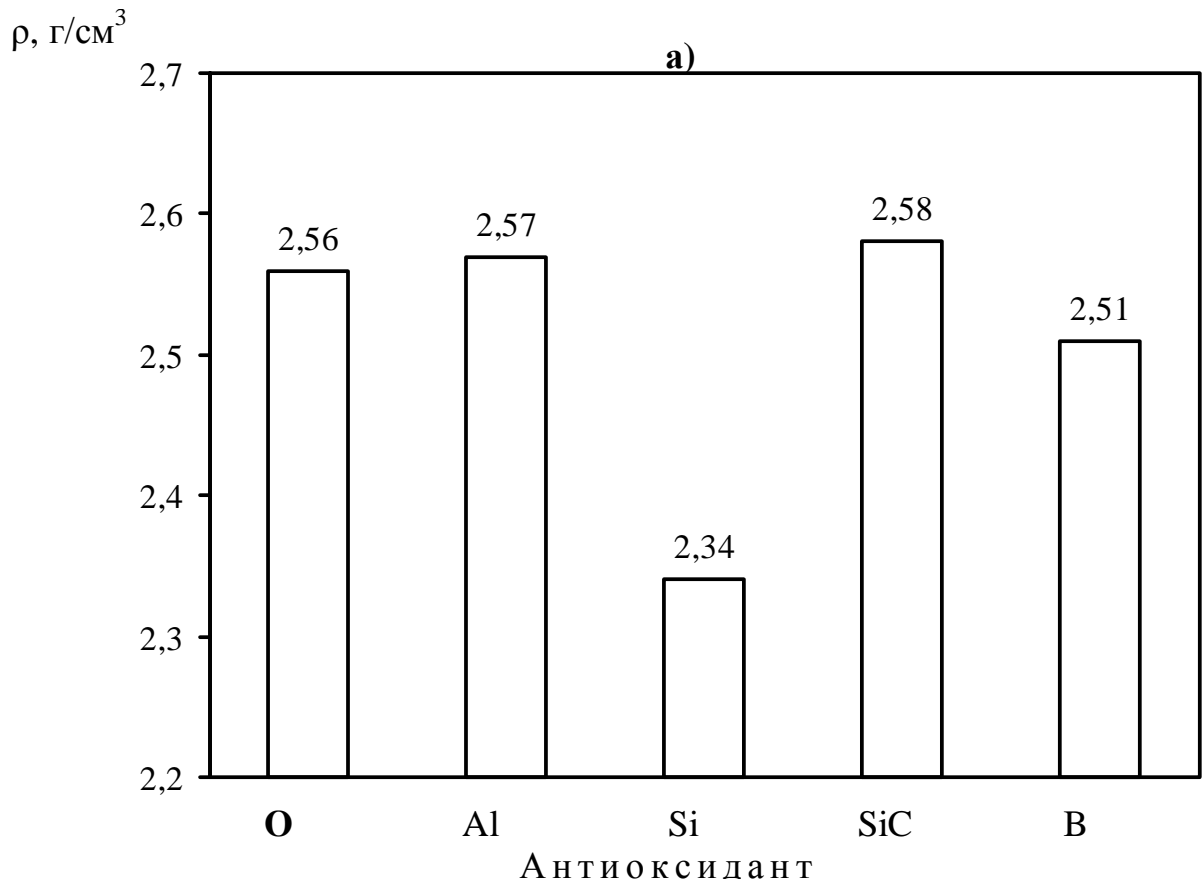
Так, уявна щільність зразків після випалу при 1000 °С і 1400 °С знаходиться в межах 2,31 – 2,58 г/см³ і 2,38 – 2,60 г/см³ (рисунок 3.5), і знижується у порівнянні з щільністю термооброблених зразків на 0,17 – 0,42 г/см³ і 0,01 – 0,46 г/см³ відповідно.

Найбільше значення щільності після випалу при 1000 °С відмічається у зразків які містять індивідуальні антиоксиданти такі як, борна кислота і SiC, а також комплексні добавки Al + Si, SiC + H₃BO₃, Al + Si + H₃BO₃. Відмічено, що найбільш низькі значення уявної щільності 2,31 г/см³ і 2,34 г/см³ мають зразки, які містять комплексні антиоксиданти SiC і H₃BO₃ та Al, SiC і H₃BO₃ (див. рис. 3.5, б)

Таблиця 3.2 – Показники властивостей, втрати маси та ступінь вигорання вуглецю після випалу периклазовуглецевих зразків при 1000°C і 1400 °C

Вид добавки	Температура випалу, °C									
	1000					1400				
	ρ , г/см ³	П, %	σ , Н/мм ²	Δm , %	ΔS , %	ρ , г/см ³	П, %	σ , Н/мм ²	Δm , %	ΔS , %
Без добавки	2,56	25,17	5	9,46	83,6	2,40	31,88	8	14,00	100
Al	2,57	23,9	7	4,37	46,1	2,54	32,47	15	8,94	74,8
Si	2,34	24,95	9	+2,56	26,8	2,50	32,00	10	9,00	56,1
SiC	2,58	23,65	6	5,94	61,8	2,52	26,82	12	10,71	68,1
H ₃ BO ₃	2,51	25,77	8	10,17	65,6	2,55	24,80	16	11,68	62,0
Al + Si	2,55	24,57	6	2,86	40,7	2,38	32,15	11	9,43	44,9
Al + SiC	2,58	23,43	7	4,35	59,7	2,42	30,98	14	9,70	72,8
H ₃ BO ₃ +Al	2,48	25,89	7	7,89	55,5	2,48	31,23	8	12,28	56,8
H ₃ BO ₃ + Si	2,45	26,5	8	7,08	58,5	2,42	23,40	13	9,15	66,9
H ₃ BO ₃ + SiC	2,31	31,62	6	10,94	60,0	2,38	31,40	10	10,0	62,3
H ₃ BO ₃ + Al + Si +	2,45	28,03	8	7,85	18,2	2,57	22,00	18	8,1	37,7
H ₃ BO ₃ +Al + SiC	2,34	31,02	6	8,34	68,7	2,38	33,26	7	12,60	69,2

Максимальне ущільнення зразків 2,57 г/см³ і 2,58 г/см³ забезпечується при використанні індивідуальних добавок Al, SiC і комплексної добавки Al + SiC. Високотемпературний випал периклазовуглецевих зразків обумовлює підвищення їх пористості у 2 – 2,5 рази. Значення цього показника коливаються в межах 23 – 32 % (рисунок 3.6).



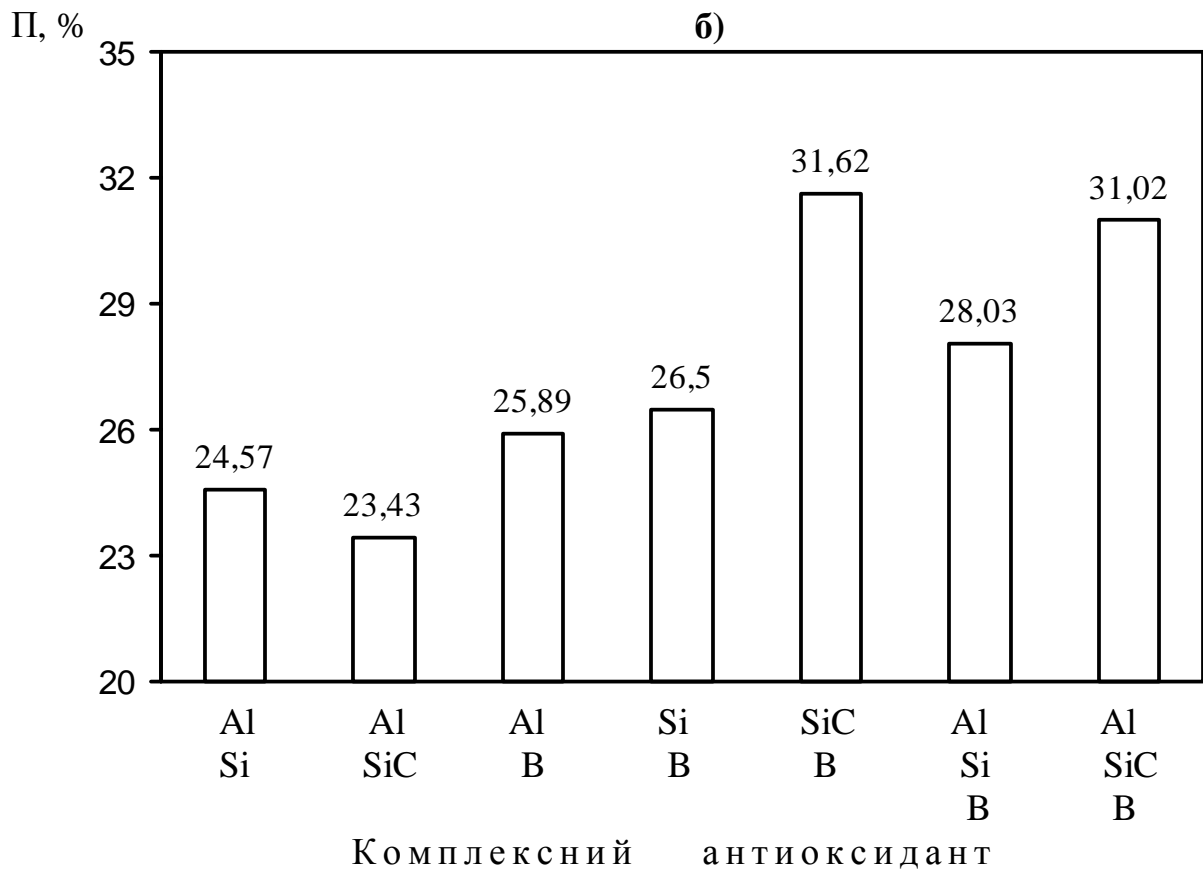
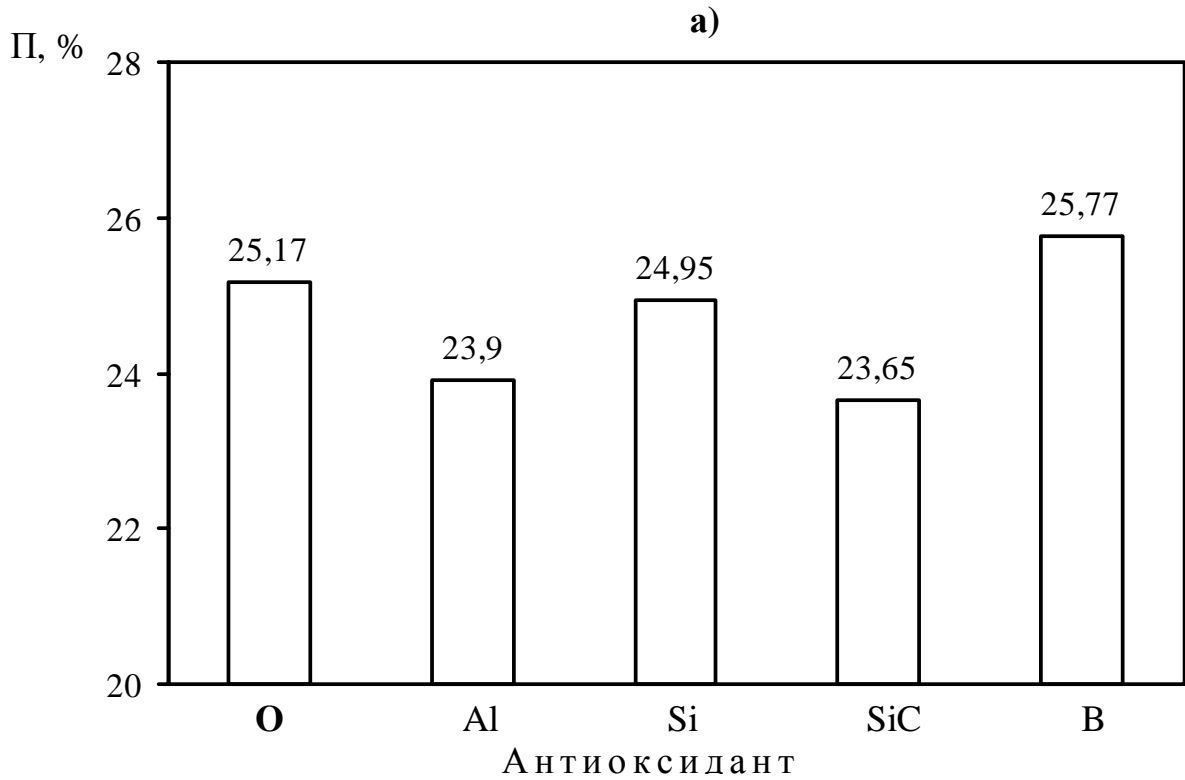
а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 O – без добавки

Рисунок 3.5 – Уявна щільність периклазовуглецевих зразків після випалу при 1000 °С

Слід зазначити, що пористість зразків, які вміщують індивідуальні добавки Al, Si, SiC та їх комбінації менша ніж пористість зразків без добавок на 1,52 – 0,22 %. Периклазовуглецеві зразки, які містять комплексні добавки з H_3BO_3 мають пористість в межах 25,89 – 31,62 %. Зіставлення результатів визначення уявної щільності і відкритої пористості зразків з різними видами антиокислюючих добавок свідчить, про відсутність процесу ущільнення маси при 1000°C. Механічна міцність експериментальних зразків складає 6 – 9 Н/мм² (рисунок 3.7) і фактично не залежить від виду антиоксиданту.

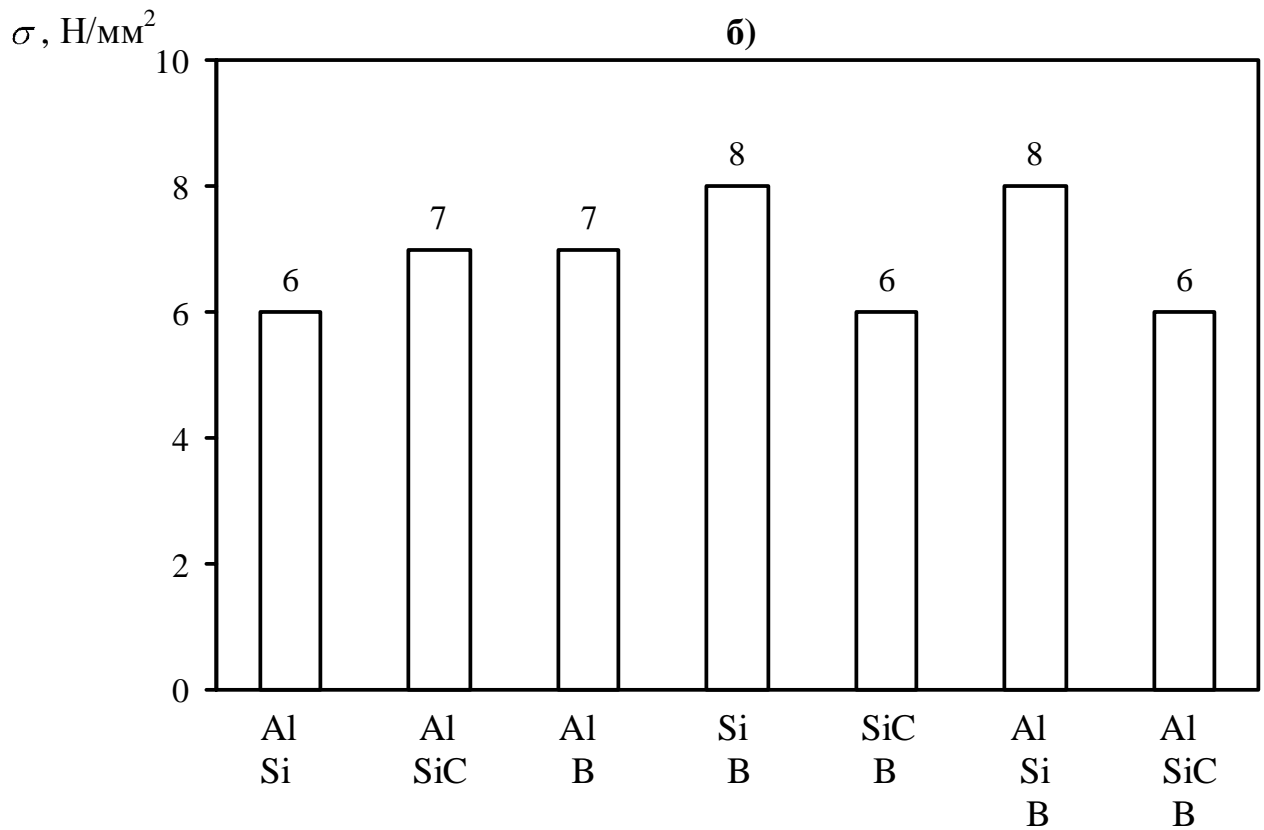
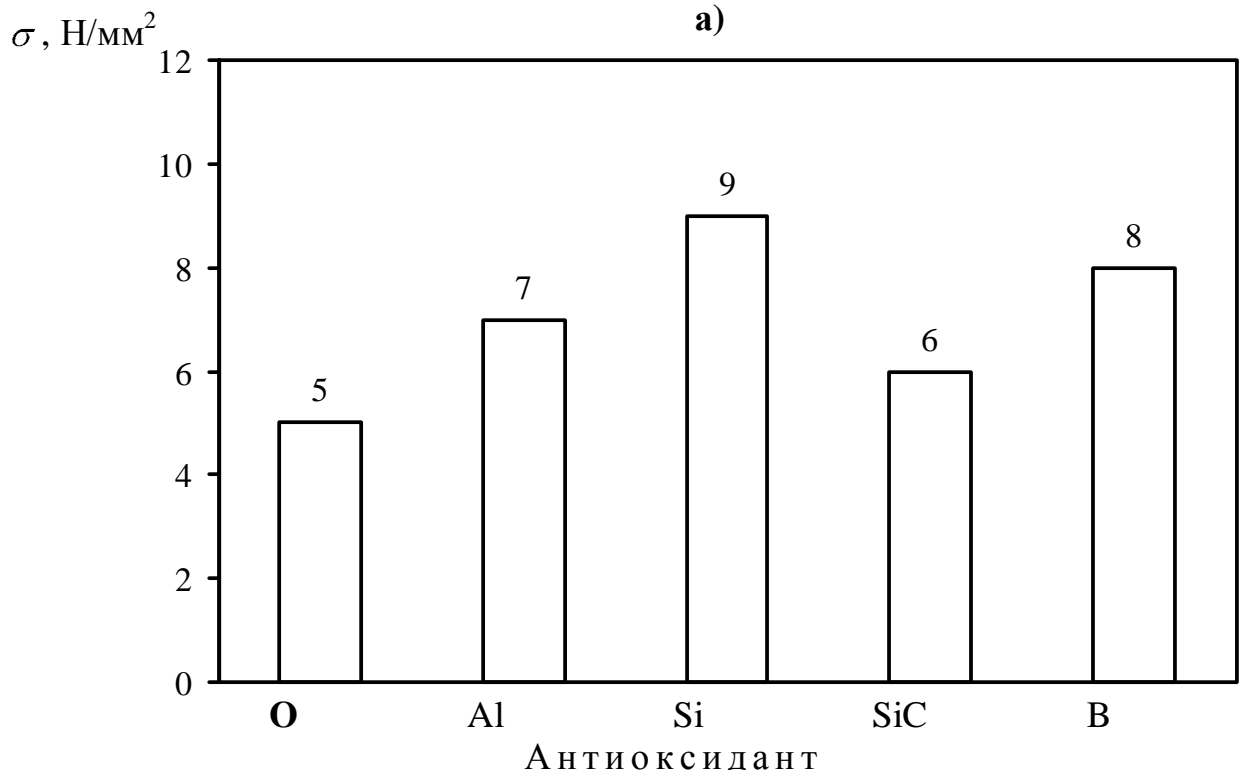
Результати визначення втрат маси при випалі зразків при 1000 °C (рисунок 3.8) показують, що введення в периклазовуглецеву масу добавок Al, SiC і їх комбінацій забезпечує зниження втрат маси у порівнянні з цим показником для зразків без добавок на 3,52 – 5,11 %. Відмічено, що добавка Si (див. рис. 3.8,а) призводить до збільшення маси зразків на 2,56 %, а сумісне введення добавок Al і Si забезпечує мінімальні втрати маси – 2,86 %.

Використання борної кислоти і комплексних добавок, які вміщують H_3BO_3 (див. рис. 3.8,б) обумовлює підвищення величини втрат маси до 7,08 – 10,94 %. Враховуючи те, що показник втрат маси є досить умовним показником для оцінки антиокислюючої дії, більш достовірним критерієм є величина площі знеуглецьованої поверхні зразка ΔS (рисунок 3.9). Як видно з отриманих залежностей ступеню окислення вуглецю від виду антиоксиданту, всі добавки виявляють антиокислюючу дію, і величина ΔS знаходиться в межах 18, 2 – 68,2 %, що на 15,4 – 65,4 % нижче ніж у зразків без добавок.



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 О – без добавки

Рисунок 3.6 – Відкрита пористість периклазовуглецевих зразків після випалу при 1000 °С

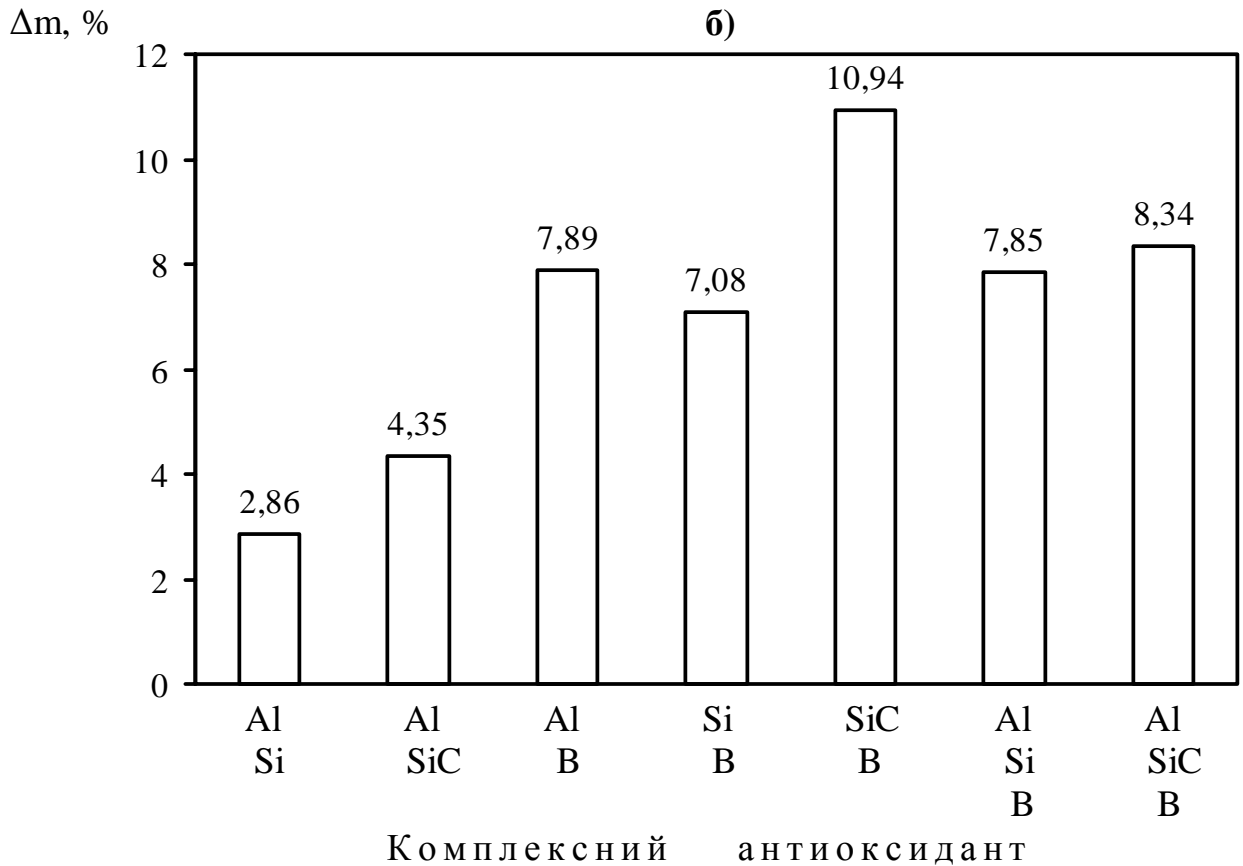
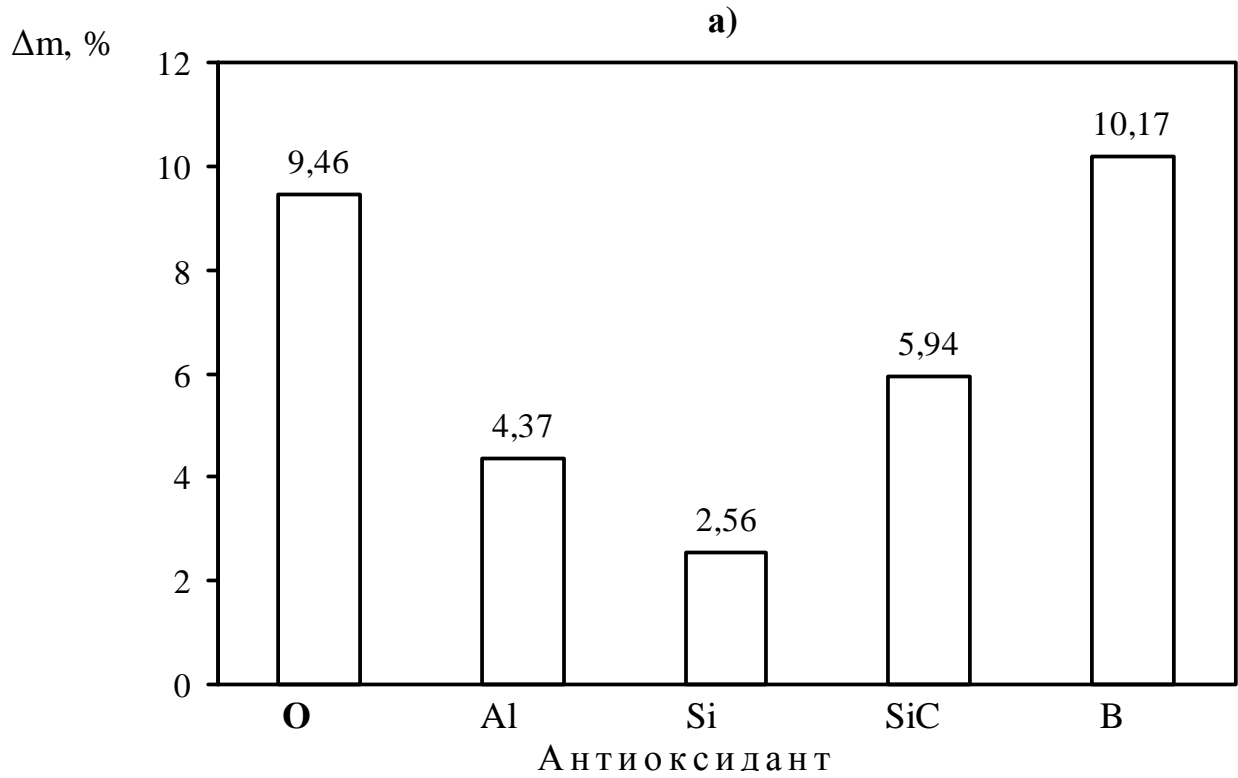


а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант

○ – без добавки

Рисунок 3.7 – Границя міцності при стиску периклазовуглецевих

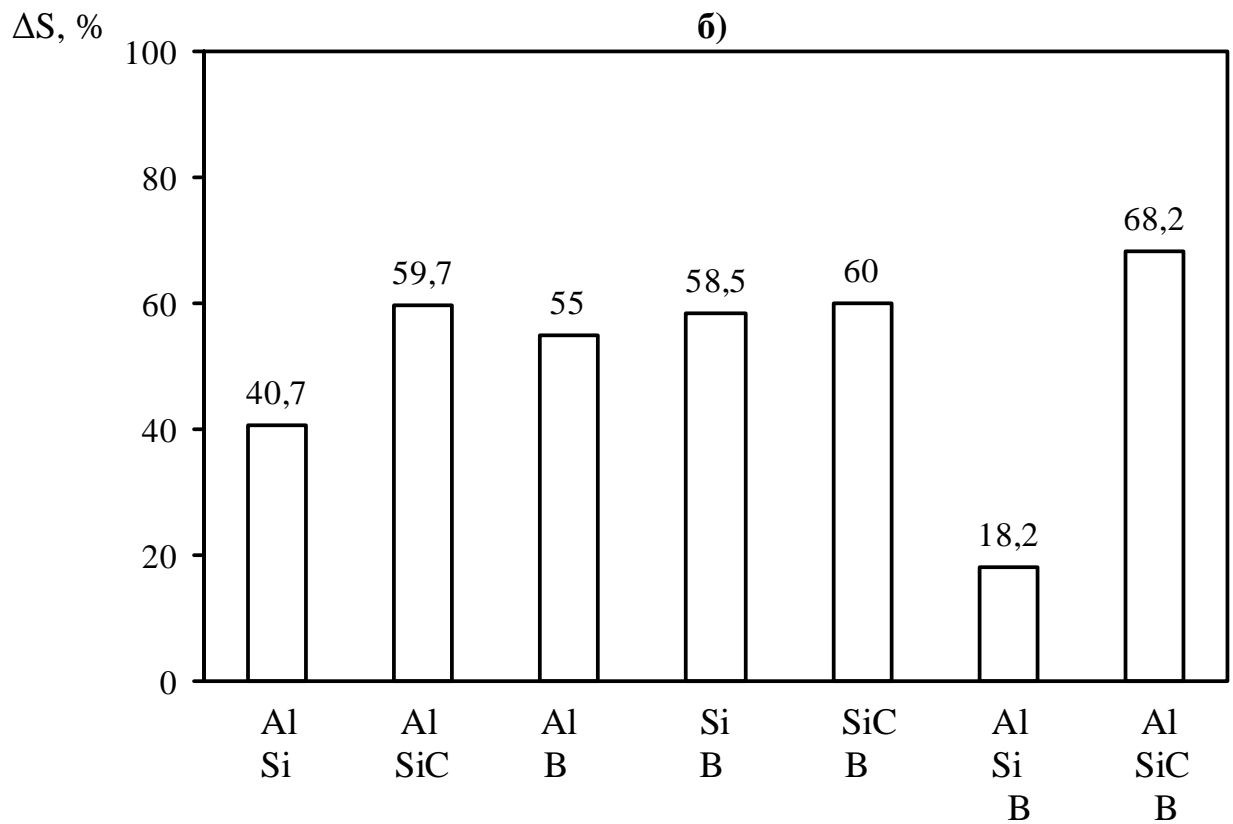
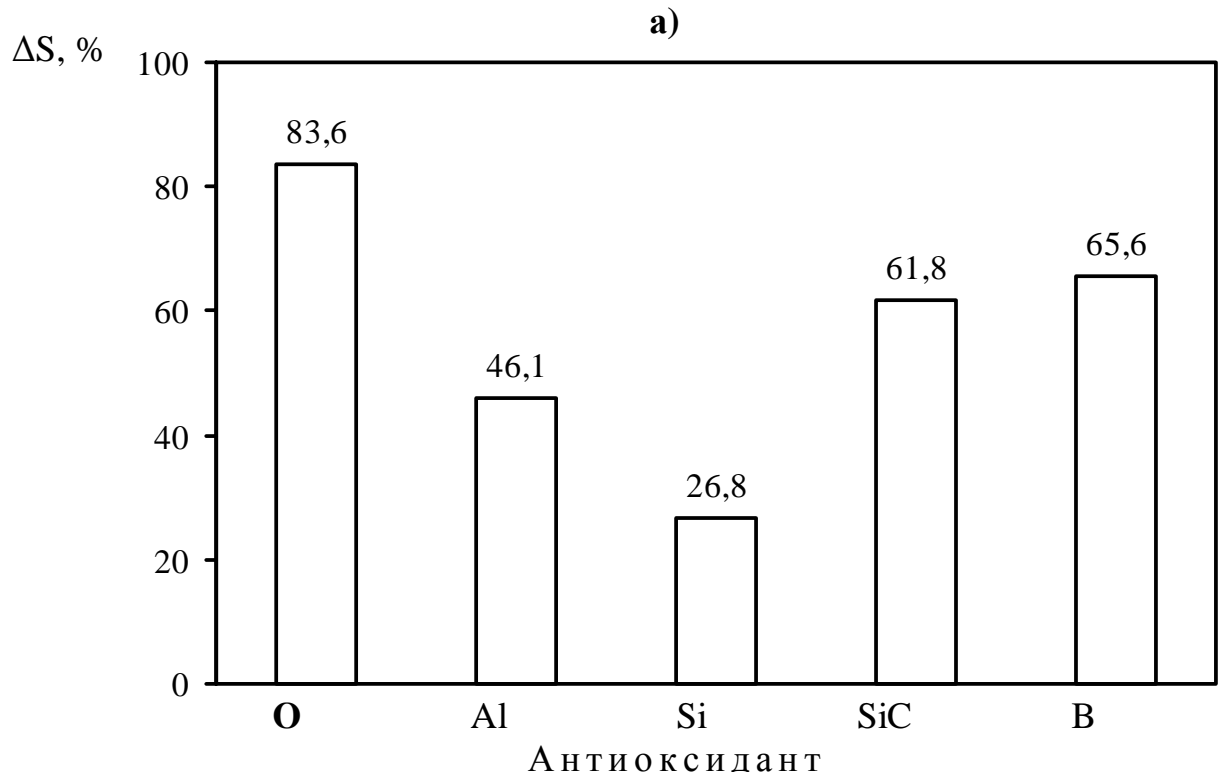
зразків після випалу при 1000 °С



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант

O – без добавки

Рисунок 3.8 – Втрати маси периклазовуглецевих зразків після випалу при 1000 °С

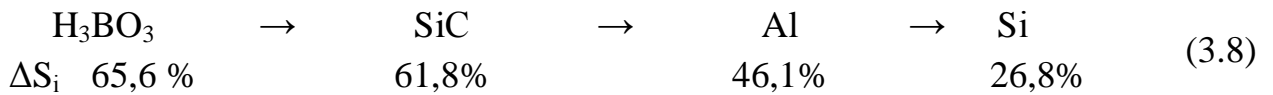


а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант

○ – без добавки

Рисунок 3.9 – Ступінь окислення периклазовуглецевих зразків після випалу при 1000 °С

За показником ступеня окислення (ΔS) індивідуальні добавки щодо збільшення антиокислюючого ефекту до 1000 °С розташовуються:



Використання комбінованої добавки Al + SiC забезпечує ступінь вигорання вуглецю – 40,7 %, що на 19,01 % менше ніж добавка Al і SiC окремо. Це обумовлено тим, що за літературними даними дія SiC ефективна при нагріванні вище 950 °С [7].

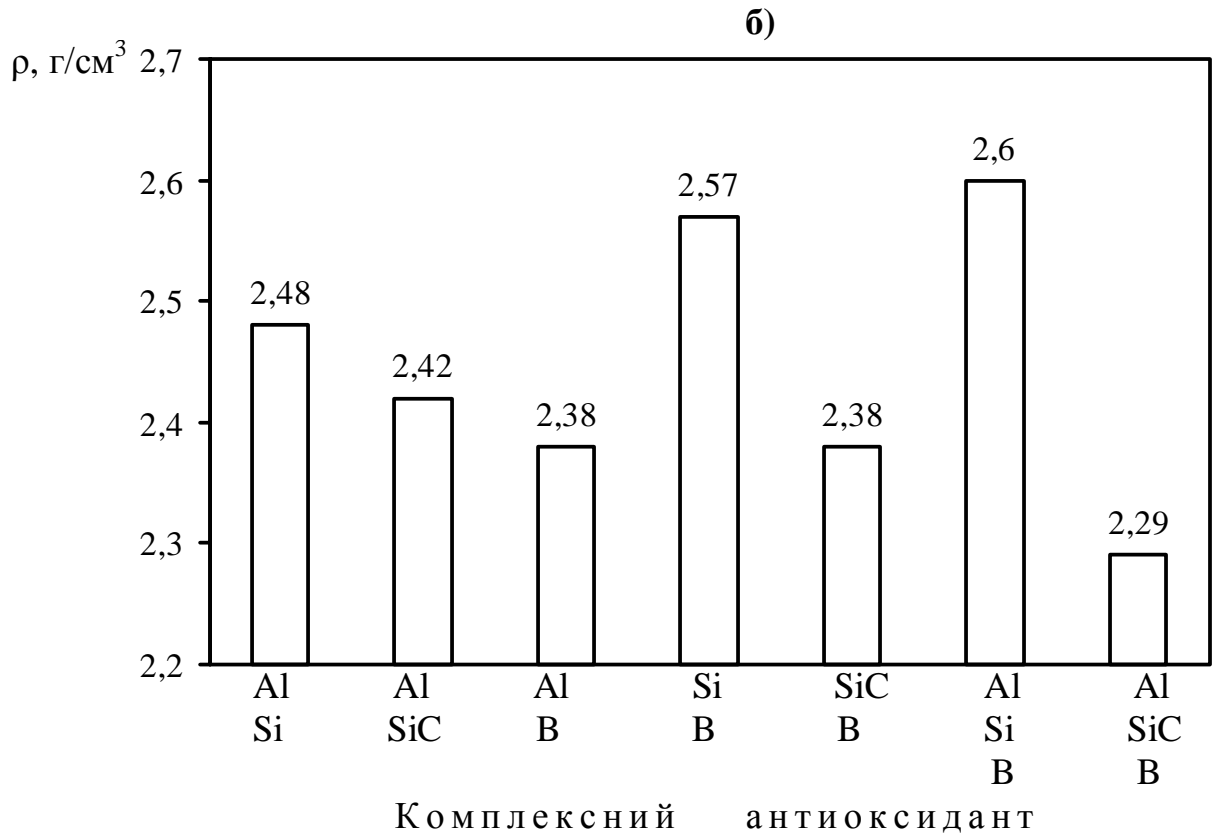
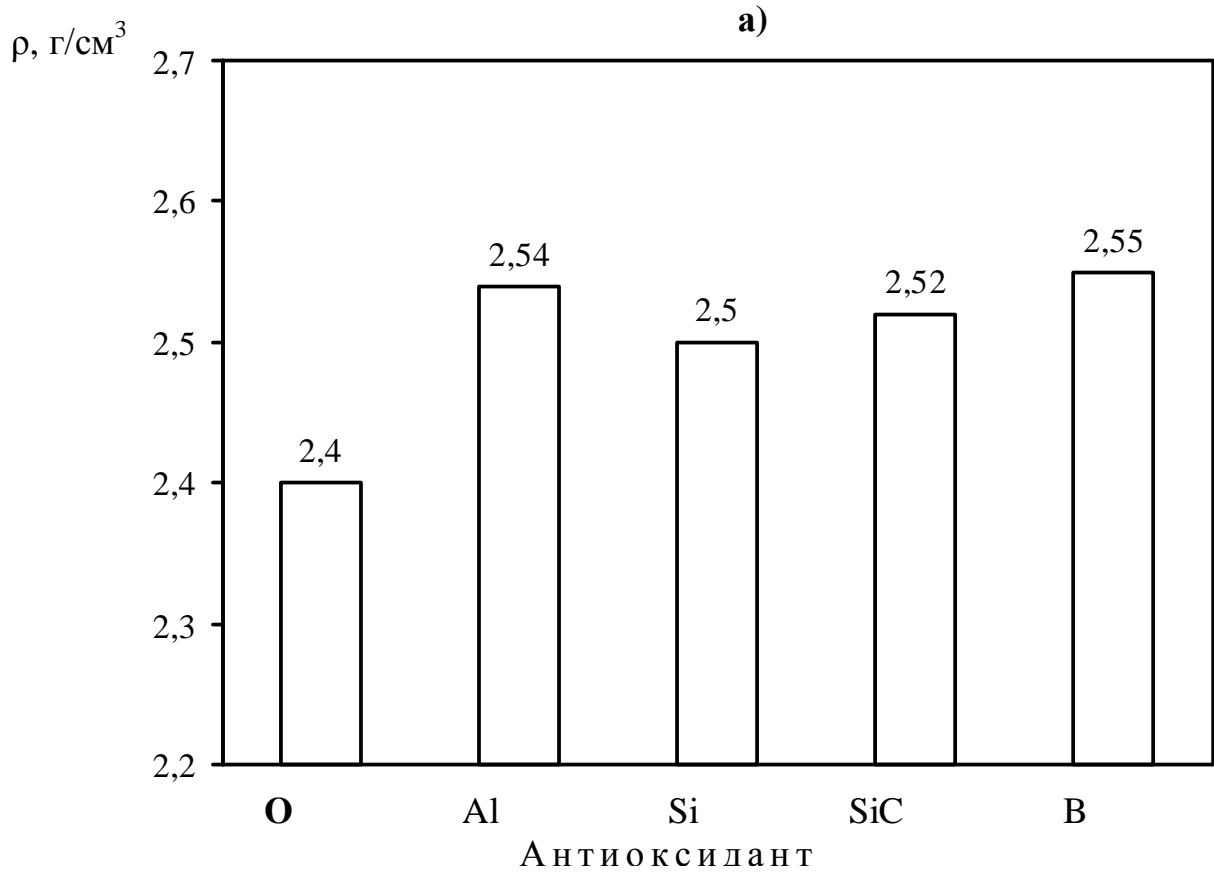
Серед комплексних добавок, які містять борну кислоту (див.рис.3.8, б) з Al, Si та SiC близькі значення ступеню вигорання вуглецю мають зразки з Al та Si – 55 % і 58,5 % відповідно. Добавка SiC і H₃BO₃ забезпечує більш високе значення ΔS – 60 %. При використанні комплексної добавки, яка складається з трьох компонентів такої як Al + Si + H₃BO₃ = 1:1:1 досягається максимальний ефект захисту вуглецю, тобто максимум протидії окисленню вуглецю. Ступінь вигорання вуглецю має мінімальне значення 18,2 %.

Таким чином, за ефективністю дії комплексних антиоксидантів при 1000 °С їх можна розташувати в наступний ряд за підвищенням антиокислюючих властивостей:



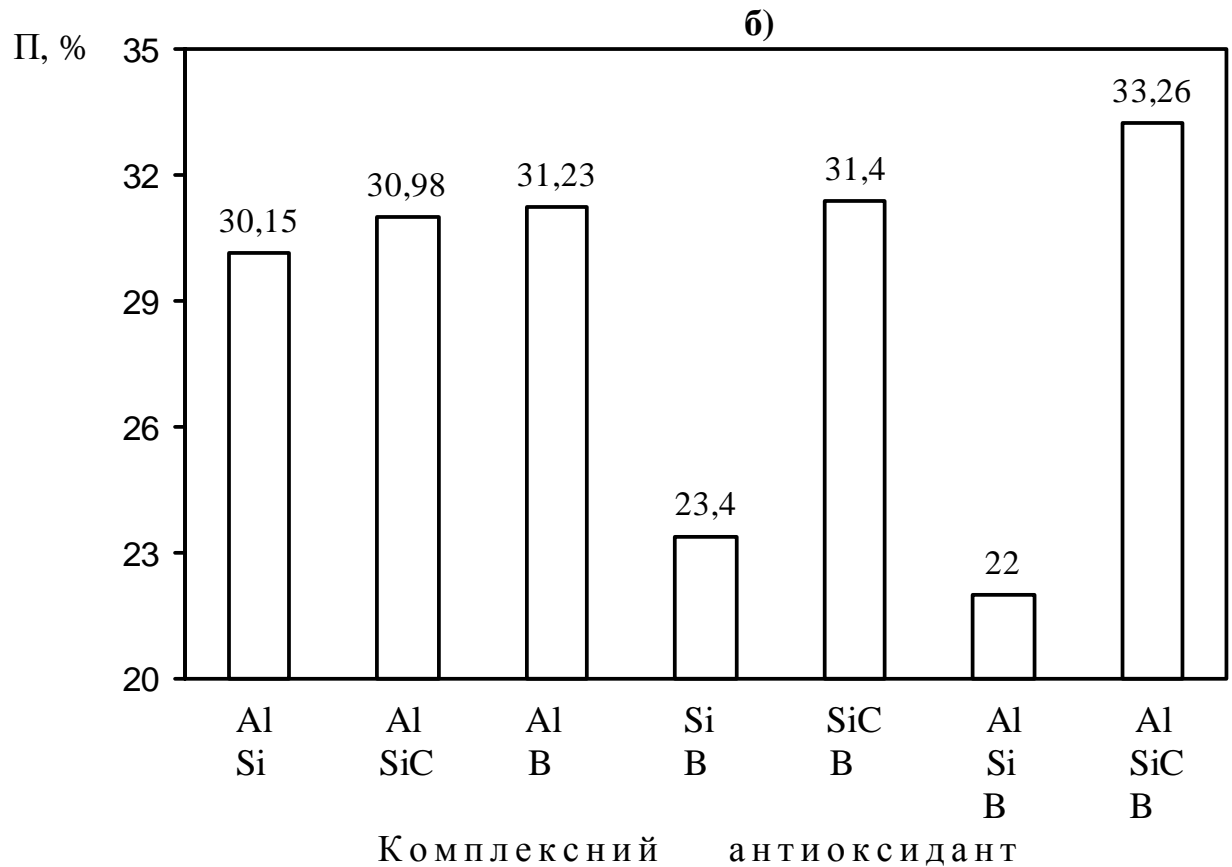
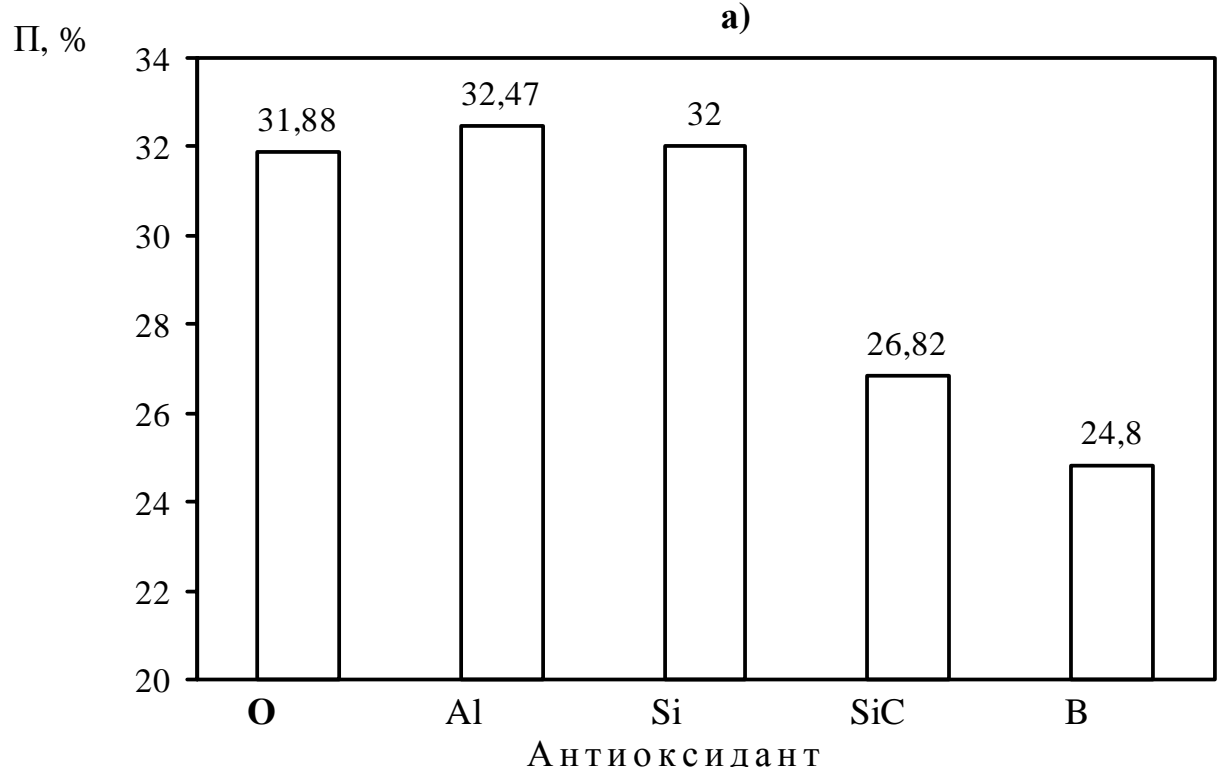
При підвищенні температури випалу периклазовуглецевих зразків до 1400°С тенденція збільшення відкритої пористості і зменшення уявної щільності зберігається практично для всіх зразків з різними антиоксидантами (рисунок 3.10, 3.11). Ущільнення структури зразків і зниження відкритої пористості відмічено для зразків, що містять добавку H₃BO₃, Si + H₃BO₃ та Al + Si + H₃BO₃.

Значення механічної міцності зразків знаходиться в межах 7 -16 Н/мм², що не суттєво перевищує міцність зразків після випалу при 1000 °С (рисунок 3.12).



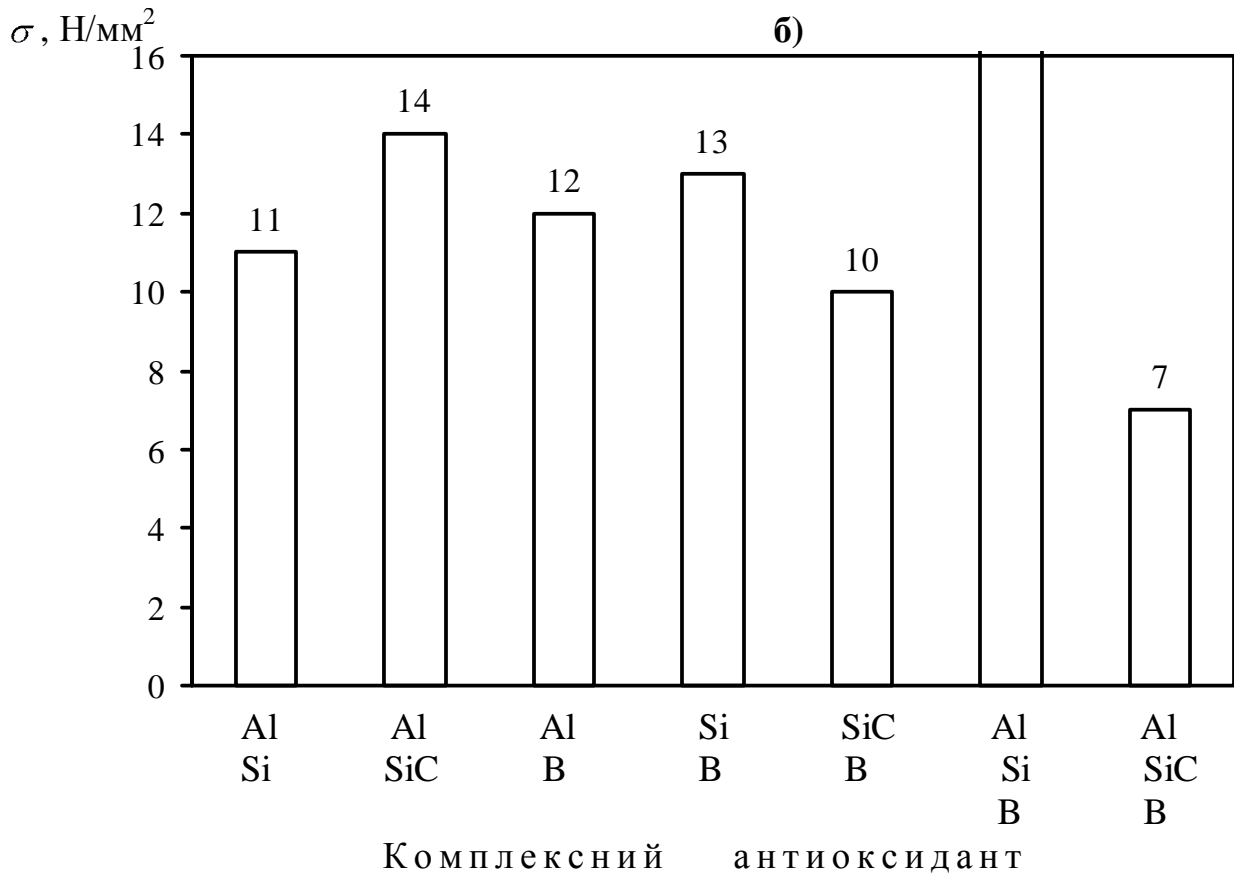
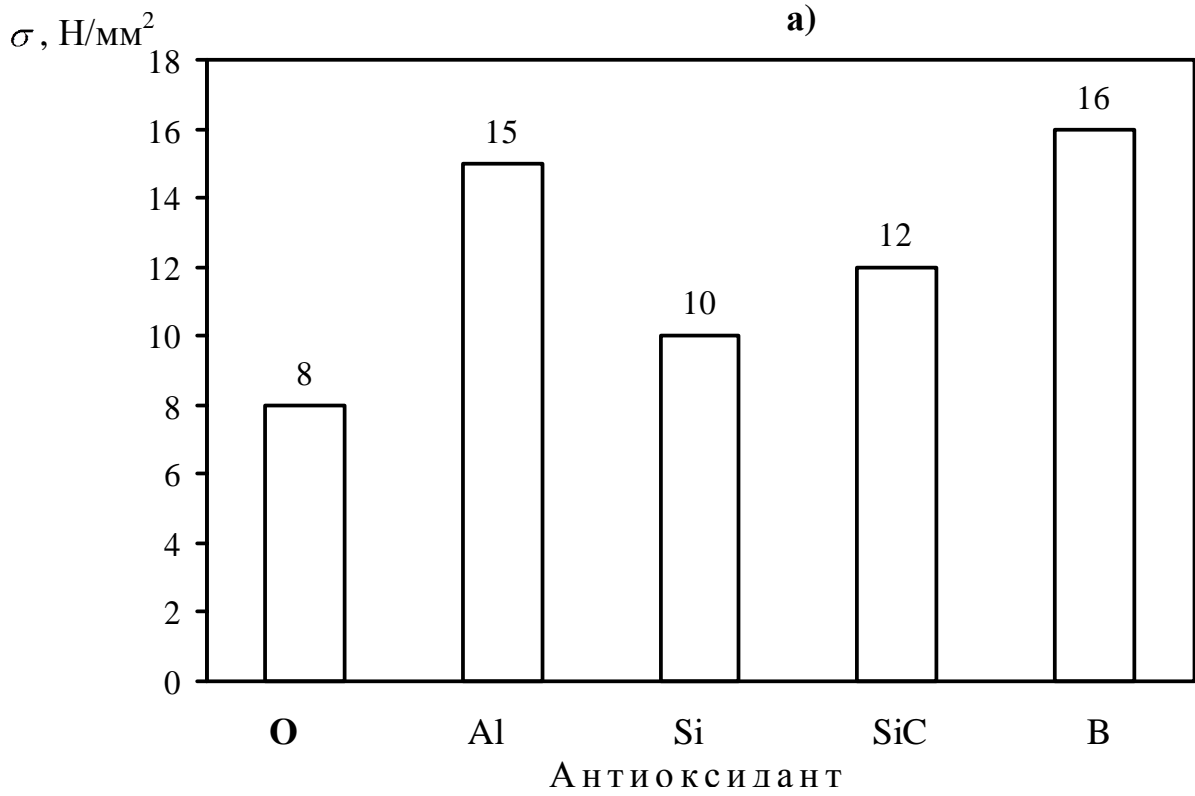
а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 O – без добавки

Рисунок 3.10 – Уявна щільність периклазовуглецевих зразків після випалу при 1400 °С



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 О – без добавки

Рисунок 3.11 – Відкрита пористість периклазовуглецевих зразків після випалу при 1400 °С



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
 О – без добавки

Рисунок 3.12 – Границя міцності при стиску периклазовуглецевих зразків після випалу при 1400 °С

Слід зазначити, що границя міцності при стиску підвищується при випалі при 1400 °С для зразків, що містять алюмінієву пудру, борну кислоту і карбід кремнію на 8 Н/мм², 8 Н/мм², і на 6 Н/мм² відповідно (див.рис.3.12,а). Для комплексних добавок збільшення границі міцності при стиску складає від 4 до 10 Н/мм² (див.рис.3.12,б). Незначне зміцнення зразків з підвищенням температури обумовлене ущільненням структури зразків

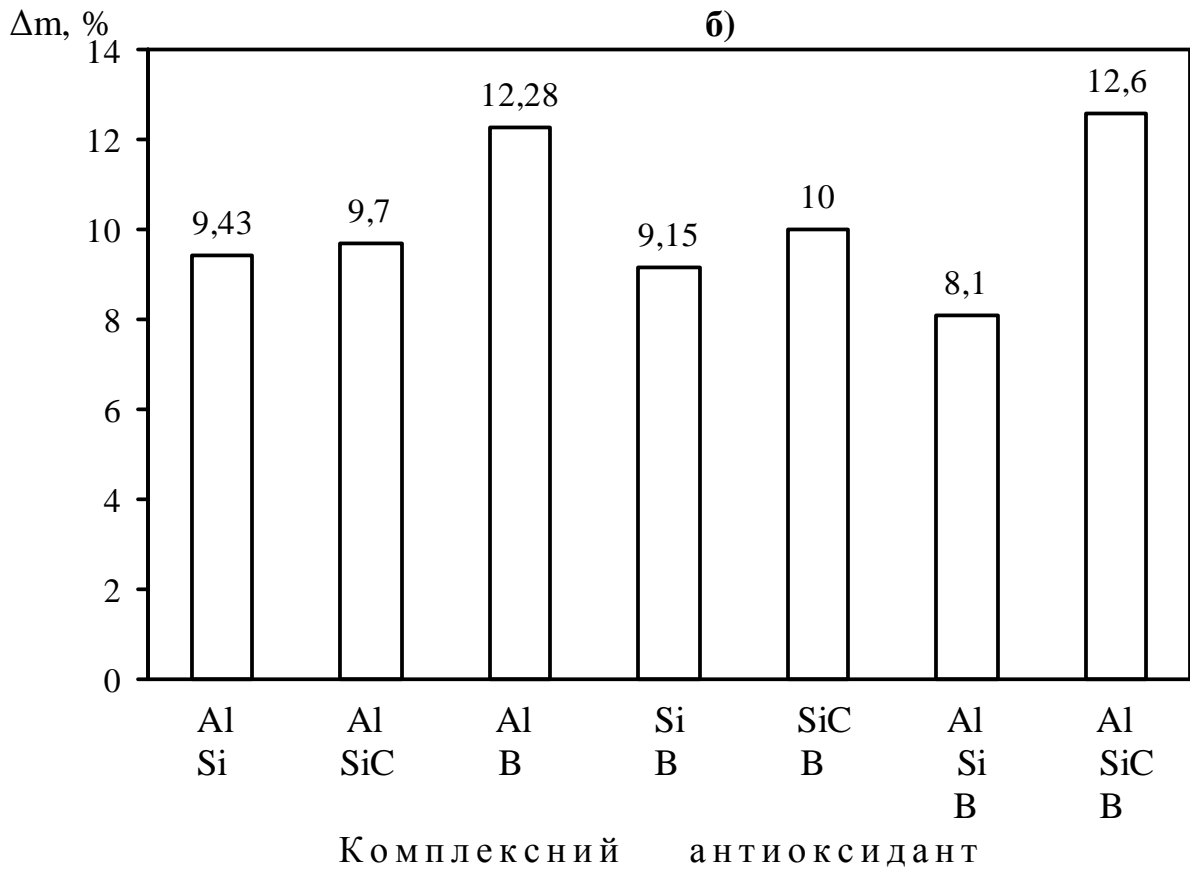
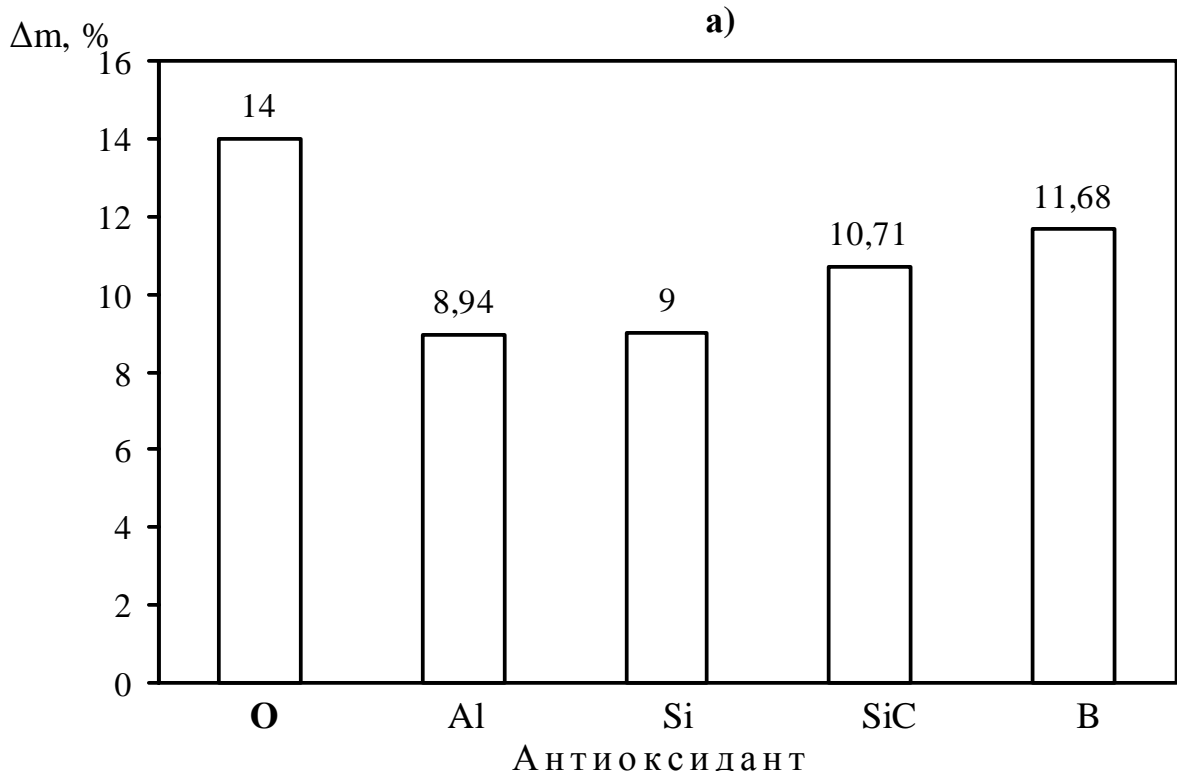
Ступінь окислення периклазовуглецевих зразків певною мірою обумовлює зниження механічної міцності зразків при високих температурах нагрівання, але й антиоксиданти, які утворюють рідку фазу (борна кислота), можуть також негативно впливати на міцнісні характеристики вогнетривів. За цих обставин доцільно обмежувати кількість антиоксидантів, дія яких приводить до утворення значної кількості рідкої фази в умовах високих температур експлуатації периклазовуглецевих вогнетривів.

Порівняльний аналіз залежностей відкритої пористості і механічної міцності від виду антиоксидантів вказує на взаємозв'язок цих показників.

Підвищення температури випалу зразків обумовило інтенсифікацію процесів вигорання вуглецю, що підтверджено результатами визначення втрат маси (рисунок 3.13). При використанні індивідуальних добавок втрати маси знаходилися в межах 8,94 -11,68 %, а при введенні в масу комплексних добавок втрати маси змінювалися від 8,1 % до 12,6 %. Але антиокислюючий ефект виявляли всі добавки, і втрати маси зразків з антиоксидантами на 1,4 – 5,9 % менші ніж у зразків без добавок.

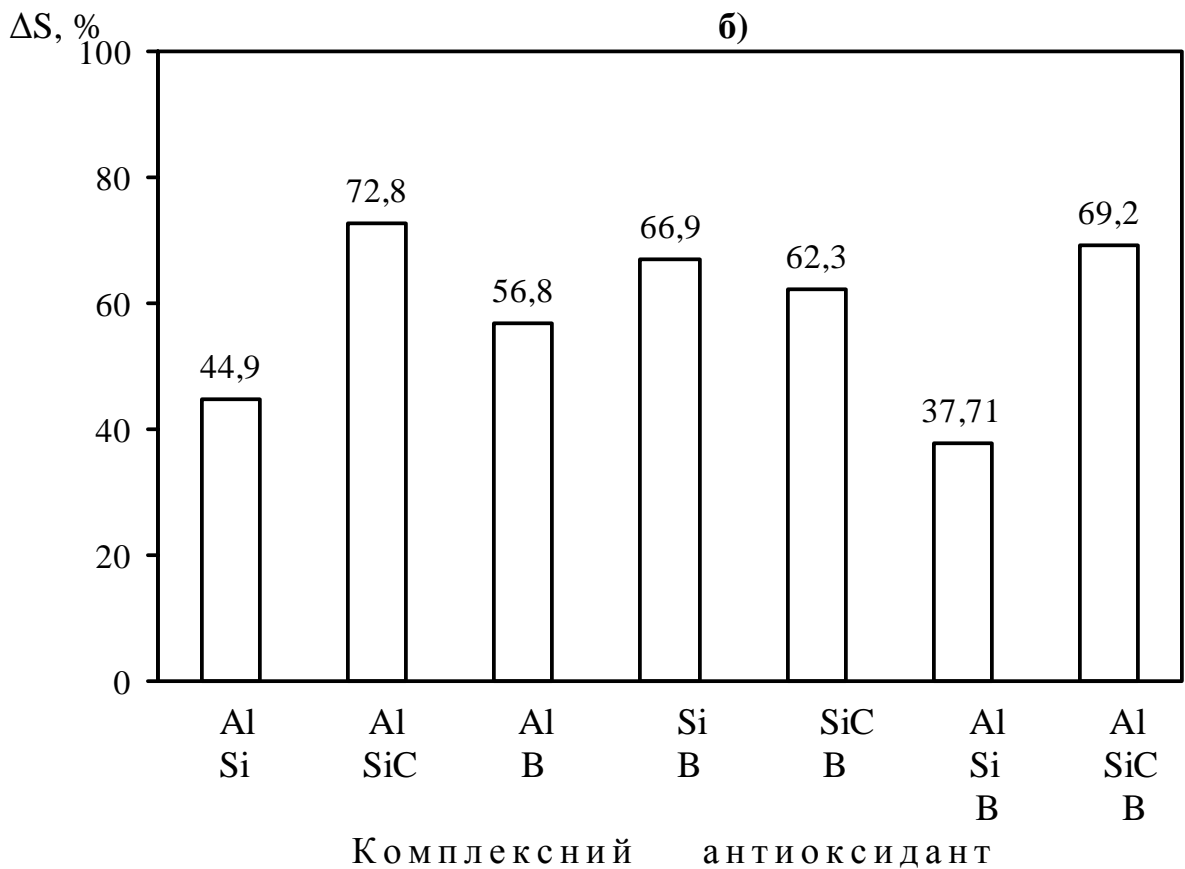
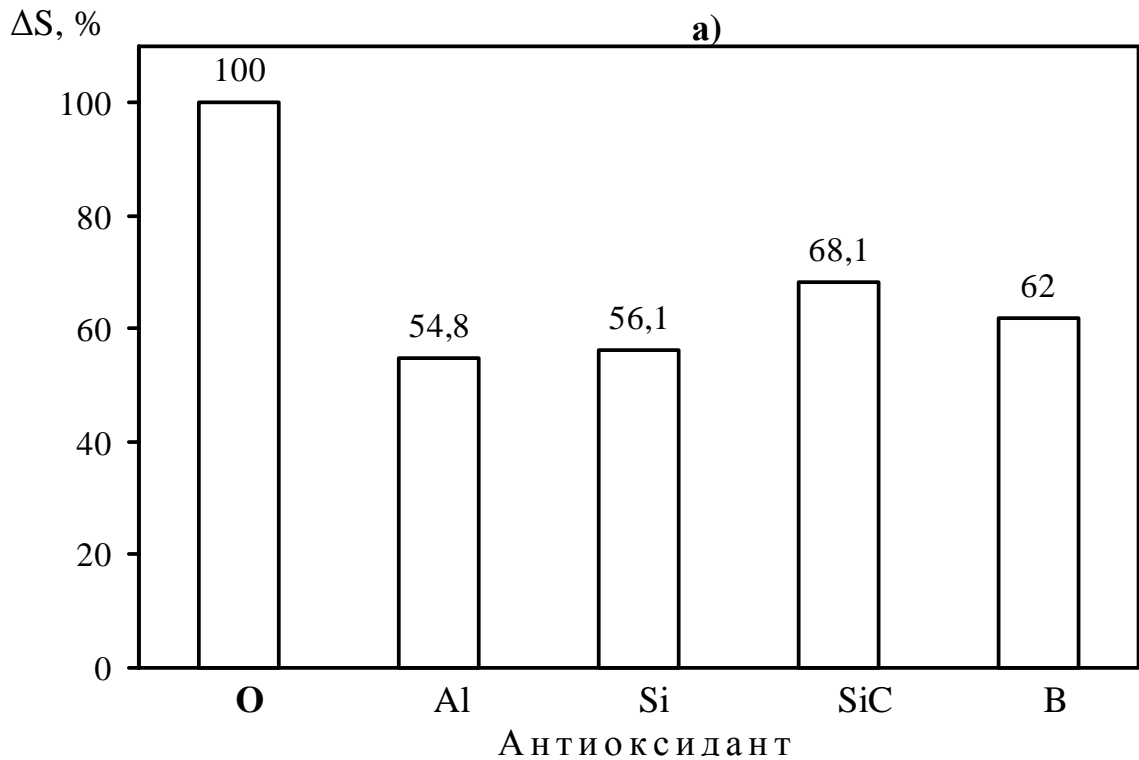
Найбільш вагомим показником дії антиоксидантів є ступінь окислювання (рисунок 3.14). Периклазовуглецеві зразки, які не мали антиоксиданту, під впливом високотемпературного випалу мають найбільшу ступінь окислювання – 100 %. Ступінь вигорання вуглецю у зразках з

індивідуальними добавками антиоксидантів коливається в межах 56,1 – 54,8 %, тобто практично знаходиться на одному рівні.



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант
O – без добавки

Рисунок 3.13 – Втрати маси периклазовуглецевих зразків після випалу при 1400 °С



а) індивідуальна добавка антиоксиданту; б) комплексний антиоксидант

О – без добавки

Рисунок 3.14 – Ступінь окислення периклазовуглецевих зразків після випалу при 1400 °С

Комплексні добавки, які вміщують борну кислоту: Al + H₃BO₃, Si + H₃BO₃, SiC + H₃BO₃, Al + SiC + H₃BO₃ забезпечують значення величини ступеню окислення 56,8 %, 66,9 %, 62,3 % і 69,2 % відповідно. Найгіршу антиокислюючу дію має комбінована добавка Al + SiC – 72,8 %.

Слід зазначити, що досягнення ефекту стабілізації вуглецю, досягається у разі використання комплексних добавок Al + Si ($\Delta S = 44,9$ %) і Al + Si + H₃BO₃ ($\Delta S = 37,7$ %), що обумовлено їх антиокислюючою дією у різних температурних інтервалах.

На підставі порівняльного аналізу дії антиоксидантів на процеси вигорання вуглецю та показники властивостей периклазовуглецевих зразків найбільш ефективною антиокислювальною добавкою визнано комплексний антиоксидант Al : Si : H₃BO₃ = 1:1:1, який вміщує, який забезпечує найбільш високі значення механічної міцності – 18 Н/мм² та щільності – 2,6 г/см³, низьку пористість – 22 % .

3.4 Висновки

Проведені дослідження впливу антиоксидантів на процес стабілізації вуглецю показали різну ступінь ефективності дії при різних температурах випалу периклазовуглецевих зразків, як індивідуальних, так і комплексних добавок.

Узагальнені результати ефективності дії антиоксидантів наведено в таблиці 3.3. Як видно з отриманих даних щодо дії індивідуальних добавок при нагріванні до 1000 °С різниця у величині ступеню окислення зразків з борною кислотою і карбідом кремнію не значна (-0,38 %) і їх антиокислювальна дія рівнозначна. Суттєвий антиокислювальний ефект мають добавки металічного алюмінію і кремнію, причому кремній

відрізняється більш ефективною антиокислюючою дією. Цей висновок не узгоджується з думкою деяких авторів [7,11], які по різному трактують температури активної стабілізаційної дії цих металічних речовин, і стверджують, що при нагріванні до 1300 °С кремній металічний виявляє більшу антиоксидантну дію ніж металічний алюміній. Але при нагріванні до 1400 °С кремній металічний краще захищає вуглець від окислення ніж металічний алюміній.

З нашої точки зору, хоча металічний алюміній має більшу активність до окислення, але наявність на поверхні частинок алюмінієвої пудри оксидної плівки уповільнює швидкість окислення алюмінію. Крім того, більш висока швидкість окислення кремнію металічного підтверджується збільшенням маси периклазовуглецевих зразків на 2,56% (див. табл.3.2).

Комбінована добавка алюмінієвої пудри і кремнію металічного забезпечує мінімальні втрати маси зразків (2,86 %), а показник ступеню окислення зразків нижче ніж у зразків з алюмінієм, але вищий за значення показника у зразків з металічним кремнієм. Останнє обумовлено зменшенням кількості більш активного антиоксиданту – металічного кремнію, і, крім того при наявності кремнію металічного міцність оксидної плівки алюмінієвої пудри знижується і за рахунок цього підвищується енергетична активність комплексної добавки.

Негативним фактором дії добавок, які містять борну кислоту, є її дегідратація, плавлення при утворенні борного ангідриду, що призводить до розпушення маси, підвищення пористості і, як результат підвищують ступінь окислення вуглецю. Узагальнюючі дані щодо ефективності дії антиоксиданту при нагрівання до 1000 °С обрано композицію $Al:Si:H_3PO_3=1:1:1$

При нагріванні до 1400 °С найкращу антиокислюючу дію виявляє алюміній у порівнянні з іншими індивідуальними добавками.

Слід зазначити, що комплексні добавки $Al + H_3BO_3$, $Al + Si$ і $Al + Si + H_3BO_3$ відрізняються максимальним ефектом протидії окисленню вуглецю, як при

температурі 1000 °С так і при 1400 °С, і таким чином здійснюють захист вуглецьвміщуючих матеріалів при нагрівання до 1400 °С.

Таблиця 3.3 – Ефективність дії антиоксидантів

Ряд зростання захисних антиокислювальних властивостей добавок	
до 1000 °C	до 1400 °C
$H_3BO_3 \rightarrow SiC \rightarrow Al \rightarrow Si$	$SiC \rightarrow Si \rightarrow H_3BO_3 \rightarrow Al$
$Al + SiC \rightarrow Al + Si$	$Al + SiC \rightarrow Al + Si$
$SiC + H_3BO_3 \rightarrow Si + H_3BO_3 \rightarrow Al + H_3BO_3$	$Si + H_3BO_3 \rightarrow SiC + H_3BO_3 \rightarrow Al + H_3BO_3$
$Al + SiC + H_3BO_3 \rightarrow Al + Si + H_3BO_3$	$Al + SiC + H_3BO_3 \rightarrow Al + Si + H_3BO_3$
$Al \rightarrow Al + Si \rightarrow Si \rightarrow Al + Si + H_3BO_3$	$Al + SiC \rightarrow Al + SiC + H_3BO_3 \rightarrow SiC \rightarrow Si + H_3BO_3 \rightarrow SiC + H_3BO_3 \rightarrow H_3BO_3 \rightarrow$ $Al + H_3BO_3 \Leftrightarrow Si \rightarrow Al \rightarrow Al + Si \rightarrow Al + Si + H_3BO_3$

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Актуальність проведення науково-дослідної роботи

Для забезпечення проведення технологічних процесів виробництва сталі в основних металургійних агрегатах: конвертор, сталерозливний ківш, електродугова піч використовують сучасні ефективні вогнетриви до яких відносяться периклазовуглецеві вогнетриви.

Перевагами цих вогнетривів є висока термостійкість, низьке змочування і реакційна здатність до розплавів металів та шлаку. Але суттєвим недоліком периклазовуглецевих вогнетривів є окислення вуглецю у їх складі (вигоряння), що призводить до погіршення експлуатаційних властивостей вогнетривів і зменшення експлуатаційного ресурсу футеровок металургійних агрегатів.

Використання технологічних прийомів і способів запобігання вигоряння вуглецю, тобто, стабілізація вуглецю в широкому температурному інтервалі служби периклазовуглецевих вогнетривів є актуальною задачею.

Найбільше поширення серед способів стабілізації вуглецю отримало використання антиокислювальних домішок – антиоксидантів, які впливають на зменшення ступеню вигоряння вуглецю, що забезпечує збереження властивостей вогнетривів в процесі експлуатації, а в деяких випадках сприяє покращенню фізико-хімічних властивостей периклазовуглецевих вогнетривів.

Враховуючи вищезначене проведення науково-дослідної роботи, щодо дослідження впливу антиокислювальних домішок на процеси вигоряння вуглецю та розробка складів комбінованих антиоксидантів є актуальною.

4.2 Планування кошторису витрат на проведення науково-дослідної роботи

Виконання науково-дослідної роботи за темою «Вплив антиокислювальних домішок на процеси вигорання графіту у периклазовуглецевих вогнетривах» передбачає витрати на придбання сировинних матеріалів, на оплату праці співробітників і відрахування податків (нарахування на заробітну плату), на оплату витрат на відрядження, а також на виробничі витрати (малоцінний інвентар). Крім того, при складанні кошторису витрат враховуються накладні витрати та податок на додаткову вартість (20%). Облік різних видів витрат складе суму, необхідну для проведення науково-дослідної роботи. Далі приведемо розрахунок витрат за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на сировинні матеріали

Для проведення досліджень використовують наступні матеріали: периклаз спечений, графіт марки ГТ-1, зв'язку бакелітову, уротропін, антиоксиданти.

Згідно за планом проведення науково-дослідної роботи експериментальні дослідження проводяться на зразках-циліндрах масою 100 г, які сформовані з периклазовуглецевих мас складу: периклаз – 82,8 %, графіт – 10 %, зв'язка бакелітова - 4 %, антиоксиданти – 2 %, уротропін – 0,4 %. Загальна кількість експериментальних зразків дорівнює – 850 штук.

Визначимо кількість вогнетривкої маси, що використовується для формування експериментальних зразків, за формулою:

$$M = m \cdot n, \text{ т} \quad (4.1)$$

де M - кількість вогнетривкої маси, т;

m - маса одного зразка, т;

n - кількість експериментальних зразків.

$$M = 0,0001 \cdot 850 = 0,085 \text{ Т.}$$

Розрахунок кількості сировинних матеріалів і добавок для приготування периклазовуглецевої маси виконують за формулою

$$N_i = \frac{M \cdot A_i}{100}, \text{ Т,} \quad (4.2)$$

де N_i - кількість i -ого компонента маси, Т;

M - кількість маси, Т;

A_i - вміст i -ого компонента у складі маси, %.

Необхідна кількість матеріалів складає:

- периклазу;

$$N_{\text{перикл}} = \frac{0,085 \cdot 82,8}{100} = 0,070 \text{ Т;}$$

- графіту;

$$N_{\text{графіт}} = \frac{0,085 \cdot 10}{100} = 0,0085 \text{ Т;}$$

- бакелітової зв'язки;

$$N_{\text{СФП}} = \frac{0,085 \cdot 4}{100} = 0,0034 \text{ Т;}$$

- антиоксиданту;

$$N_{\text{антиокс}} = \frac{0,085 \cdot 2}{100} = 0,0017 \text{ Т;}$$

- уротропіну.

$$N_{\text{уротропін}} = \frac{0,085 \cdot 0,4}{100} = 0,00034 \text{ Т;}$$

Розрахунок суми витрат за статтею кошторису "Сировинні матеріали" наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на сировинні матеріали

№ з/п	Найменування сировини і добавок	Кількість, т	Ціна, грн/т	Сума, грн
1	Периклаз спечений	0,070	43457,58	3042,0
2	Графіт	0,0085	23657,82	201,1
3	Зв'язка бакелітова	0,0034	77571,99	263,7
4	Антиоксиданти	0,0017	84818,98	144,2
6	Уротропін	0,00034	27240,58	9,3
	Всього:	-	-	3660,3

4.2.2 Обґрунтування штатного розкладу для виконання досліджень і розрахунок річного фонду заробітної плати.

Виконання науково-дослідної роботи передбачається здійснювати групою співробітників. Кількість співробітників та їх кваліфікаційний рівень обираються з урахуванням об'єму (плану) науково-дослідної роботи.

Приклад відомостей про штатний розклад і розрахунок річного фонду заробітної плати наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Річний фонд заробітної плати

№ з/п	Штат	Кількість	Місячний оклад, грн	Ставка	Кількість відпрацьованих місяців	Річна заробітна плата, грн
1	Головний науковий співробітник	1	19840,00	1	12	238080,00
2	Старший науковий співробітник	2	17000,00	1	12	408000,00
3	Інженер I категорії	2	12000,00	0,5	12	144000,00
4	Технік I категорії	1	9200,00	1	12	110400,00
	Разом:	-	-	-	-	900480,00

4.2.3 Розрахунок нарахувань на заробітну плату.

Відповідно до чинних в Україні нормативних актів та Законів нарахування на заробітну плату здійснюється за наступними статтями: на соціальне страхування, відрахування до пенсійного фонду, відрахування до фонду зайнятості, відрахування на страхування від нещасних випадків. Загальна сума нарахувань на заробітну плату складає 36,2 %. результати розрахунків нарахувань на заробітну плату приведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Розрахунок нарахувань на заробітну плату

№ з/п	Найменування нарахувань	Норма, %	Сума, грн
1	Соціальне страхування	1,4	12606,72
2	Пенсійний фонд	33,2	298959,36
3	Воєнний збір	1,5	13507,20
4	Страхування від нещасних випадків	0,3	2701,44
	Разом:	36,4	327774,72

4.2.4 Розрахунок інших виробничих витрат

Інші виробничі витрати складаються з предметів, які відносяться до категорії "малоцінний інвентар" (папір, ручки, лінійки і т.д.) – таблиця 4.5, а також "амортизаційні відрахування" і виконання тонких методів аналізу.

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на малоцінний інвентар

Найменування	Папір	Ручка	Флешка USB	Лінійка	Олівець	Гумка	Файли	Картридж	Коректор	Форма	Маркер	Разом
Одиниця вим-ня	пач.	шт	шт	шт	шт	шт	шт	шт	шт	шт	шт	-
Кількість	4	12	2	6	12	6	100	2	6	12	6	-
Ціна за од., грн	70	6,0	150	5,0	2,0	2,0	0,45	300	7	80	15	-
Сума, грн	280	72	300	30	24	12	45	600	42	960	90	2455

Для проведення досліджень впливу антиокислювальних домішок на показники властивостей зразків після високотемпературного нагріву необхідне виконання рентгенофазового аналізу, визначення уявної щільності та пористості зразків, розрахунок витрат приведений в таблиці 4.6.

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат на проведення досліджень

Вид аналізу	Кількість зразків	Вартість 1 визначення, грн	Сума, грн
Уявна щільність, пористість	12	150	1800
Рентгенофазовий	12	250	3000
Разом:	-	-	4800

Сума витрат по статті «інші виробничі витрати» складе:

$$2455+4800=7255 \text{ грн.}$$

Залишкова вартість устаткування, що числиться на балансі лабораторії на 1.01.2019 р. складає 313930,75 грн., тоді річні амортизаційні відрахування при нормі 25 % складуть:

$$Ам=(313930,75*25) /100=78482,69 \text{ грн.}$$

Накладні витрати приймаємо в кількості 10 %, від загальної суми розробки. Кошторис науково-дослідної роботи приведений в таблиці 4.7.

Таблиця 4.6 – Кошторис витрат на виконання науково-дослідної роботи

№ з/п	Найменування статі витрати	Сума, грн.
1	Сировинні матеріали	3660,3
2	Заробітна платня	900480,00
3	Нарахування на зарплату	327774,72
4	Амортизаційні відрахування	78482,69
5	Інші виробничі витрати	7255,00
	Накладні витрати (10 %)	131765,27
	ВСЬОГО	1449417,98
	ПДВ (20 %)	289883,60
	Всього з ПДВ	1739301,58

4.3 Висновки

Відповідно до виконаних розрахунків, витрати на проведення науково-дослідної роботи, направленої на пошук найбільш ефективних антиокислювальних добавок для периклазовуглецевих вогнетривів, складуть 1739301,58 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДОСЛІДЖЕНЬ

У вирішенні завдань соціально-економічного прогресу важлива роль належить охороні праці - системі законодавчих актів, санітарно-гігієнічних, організаційних і технічних заходів, що забезпечують збереження здоров'я й безпеки праці в процесі трудової діяльності людини. Забезпечення безпеки праці при проведенні науково-дослідних робіт у лабораторії шляхом підвищення безпеки приладів й устаткування, а також моделюючих технологічних процесів, є важливим завданням охорони праці робітників [37].

У системі забезпечення безпеки життя й здоров'я працівників у процесі їхньої трудової діяльності основна роль належить правовим і нормативним основам охорони праці на підприємстві: Конституція України, Кодекс законів про працю, закон України «Про охорону праці», постанова Верховної Ради й кабінету Міністрів України, Державного комітету України по нагляду за охороною праці.

КЗпП зобов'язує керівників виробництв створювати безпечні й нешкідливі умови праці (ст.153); вводити сучасні засоби техніки безпеки, попереджаючи виробничий травматизм і забезпечити санітарно-гігієнічні умови, попереджаючи появу професійних захворювань робітників та службовців (ст. 158) [38].

Методика виконання експериментальної частини дипломної роботи передбачає проведення операцій, приготування вогнетривких мас і формування зразків, термічної обробки зразків в інтервалі температур 100 – 1460°C, визначення показників властивостей зразків. При проведенні досліджень використаються наступні матеріали: периклаз, вуглець, антиоксиданти. Всі види робіт виконуються в лабораторії проектно-дослідного відділу (ПрДВ) ПРАТ «ЗАПОРІЖВОГНЕТРИВ» .

5.1 Аналіз санітарно-гігієнічних умов у лабораторії

Лабораторія ПрДВ знаходиться в будівлі відділу технологічного контролю (ВТК), що має 2 поверхи й виконана із цегли. Приміщення лабораторії розташоване на першому поверсі, його загальна площа становить 54 м² висота приміщення – 3,5 м. Відповідно до СН 512-78 [38] площа на одного працюючого становить 15 м², об'єм – не менш 4,5 м³. У лабораторії площа на одного працюючого становить 15 м², а об'єм – 35 м³, що відповідає зазначеним вище вимогам. Стіни в лабораторії обкладені плиткою, стеля пофарбована у білий колір, підлога зроблена з коричневої плитки. Лабораторія призначена для виконання робіт з формування експериментальних зразків, їх сушінню, визначенню властивостей зразків або вогнетривів.

У лабораторії ПрДВ зберігаються наступні неорганічні сполуки: оксид алюмінію, оксид заліза II-валентний й III-валентний, хлорид натрію, сульфат натрію, ортофосфорна кислота, хлорид алюмінію, рідке скло, вуглець, карбід кремнію. Крім того, у лабораторії зберігаються різні види мелених вогнетривких глин і каолінів, шамот, периклаз, гіпс, цемент, пісок і кускове вапно. Органічні сполуки й поверхнево-активні речовини в лабораторії не зберігаються.

У лабораторії ПрДВ проводяться механічні методи аналізу - визначення механічної міцності, визначення відкритої пористості й щільності зразків, водопоглинання. Для виконання цих видів аналізів у лабораторії встановлена наступна апаратура: пристрій для експрес-контролю водопоглинання ЭКВ, електрошафа лабораторна СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3-ІЗ У4.2, гідравлічний прес ручний, 50-тонний гідравлічний прес ГП-50, прес гідравлічний П-125, прес гідравлічний П-250. Специфіка видів робіт, що виконуються у лабораторії ПрДВ і наявного устаткування визначає необхідність виконання вимог, що пропонуються до повітряного середовища

приміщення, до освітлення, вентиляції, електробезпеки й техніці безпеки при роботі з хімічними реактивами, пожежної безпеки.

Лабораторія ПрДВ відноситься до II групи виробничих процесів. Вона оснащена загальною гардеробною для верхнього та робочого одягу й умивальною, що відповідає СНіП 2.09.04.87, СНіП 2.0.02.89 про санітарно-побутові приміщення [38].

Важливим фактором, що впливає на самопочуття й працездатність людини є повітряне середовище приміщень, гігієнічна характеристика повітря визначається метеорологічними параметрами виробничого середовища й чистотою.

Метеорологічні умови виробничого середовища визначаються сполученням наступних основних параметрів: температури, відносної вологості, рухливості повітря й інтенсивності тепловиділення. Відповідно до нормативних документів: ГОСТ 12.1.005-88 “ Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони ”, встановлюються оптимальні й припустимі метеорологічні умови. Оптимальні метеорологічні умови враховують категорію робіт, прийняту на основі загальних енерговитрат, період року й характеристику приміщення залежно від виділення надлишкового тепла.

Категорія робіт з енерговитрат організму - легка фізична I-ої категорії, енерговитрати становлять 150 (до 172) Дж/с (ккал/ч).

Фактичні, припустимі й оптимальні значення параметрів мікроклімату для даної категорії робіт відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 [39] наведені в таблиці 5.1.

З метою оздоровлення повітряного середовища виробничих приміщень використовують вентиляційні системи, які підрозділяються на загальнообмінні, призначені для зміни повітря у всьому приміщенні, і місцеві - для уловлювання шкідливих речовин.

Вентиляція вважається ефективною, якщо вона забезпечує відповідність стану повітря вимогам ГОСТ 12.1. 005-88 [39] і СН 245-71 [38]. Мінімальна кількість зовнішнього повітря, що подається в приміщення,

становить 20-60 м³/ч на одну людину. Для виробничих приміщень при можливості природного провітрювання – 30 м³/ч на одну людину ($V < 20$ м³/чол) або 20 м³/ч на одну людину ($V \geq 20$ м³/чол). При неможливості природного провітрювання приміщень – 60 м³/ч·чол., для громадських приміщень, в яких люди перебувають до 3годин, приймають 20 м³/ч·чол.

Таблиця 5.1 - Фактичні, припустимі й оптимальні значення параметрів мікроклімату

№ п/п	Параметри	Фактичні значення	Нормативи по ГОСТ 12.1.005-88	
			припустимі	оптимальні
1	Температура повітря, °С			
	- холодний період	21°С	17-25°С	21-23°С
	- теплий період	26°С	19-30°С	22-24°С
2	Відносна вологість повітря			
	- холодний період	55%	75%	40-60%
	- теплий період	45%	60%	40-60%
3	Швидкість руху повітря, м/с		не більше	
	- холодний період	0,1 м/с	0,2 м/с	0,1м/с
	- теплий період	0,2 м/с	0,1-0,3 м/с	0,2м/с

У лабораторії є витяжна шафа, всередині якої є дві сушильні шафи (які є джерелами теплового випромінювання) і облицьована кислототривкою плиткою поверхня, призначена для роботи з кислотами. У лабораторії перебувають різні хімічні речовини й вогнетривкі матеріали, які відрізняються класом небезпеки й характером дії на організм людини при перевищенні гранично - припустимої концентрації в повітрі робочої зони приміщення. Перелік основних шкідливих речовин у лабораторії і їх дію на людину наведено в таблиці 5.2.

Таким чином, фактична концентрація в повітрі лабораторії шкідливих речовин не перевищує їх гранично - припустимої концентрації .

Таблиця 5.2 - Перелік шкідливих речовин у лабораторії ПрДВ і їх дія на організм людини

№ з/п	Найменування матеріалу	Шкідливий компонент матеріалу	Фактична концентрація, мг/м ³	Клас небезпеки	ПДК, мг/м ³	Характер дії на організм людини
1.	Глина, каолін, шамот	Діоксид кремнію	0,05-0,1	III	4	Може викликати захворювання силікозом.
2.	Периклаз	Оксид магнію	0,06	IV	41	Викликає катаральний стан слизових дихальних шляхів, можливий фіброз легенів з емфіземою.
3.	Залізо	Оксид заліза	1	III	4	Володіє загальнотоксичною й подразнюючою дією. Викликає запальні захворювання верхніх дихальних шляхів, порушення функції печінки,
4.	Натрію хлорид	Натрію хлорид	1,5	III	45	Можлива дія на дихальні шляхи й на шкіру
5.	Сірчана кислота	Сірчана кислота	0,01	II	1	Вражає дихальні шляхи, зуби, центральну нервову й серцево-судинну систему, печінку.
6.	Вуглець (сажа, вугілля)	вуглець	3	III - IV	-10	Викликає стомлюваність, кашель, роздратованість, головний біль, задишку, антракоз

Джерелом шуму в лабораторії може бути робота преса й вентиляційної системи, що створюють у процесі роботи несприятливі фактори. Шум, впливаючи на органи слуху й центральну нервову систему організму людини, може викликати настання глухоти, зниження чутливості слуху, загальне нездужання людини й порушення роботи внутрішніх органів і систем. Вимірювання рівня шуму в лабораторії при максимальному завантаженні устаткування склало 35 дБА, що не перевищує припустимий рівень шуму 50 дБА, відповідно до вимог ГОСТ12.1.003-83 [40].

Освітлення в лабораторії сполучене: природне й штучне. Природне освітлення бічне, однобічне, через світлові прорізи в стінах - вікна. У темний час доби для проведення досліджень природного освітлення недостатньо, тому використовують штучне освітлення - електричними люмінесцентними лампами. Метод освітлення робочої зони - пряме світло. Промені світла від джерела падають прямо на робоче місце. По характеристиці зорової роботи лабораторії належать до - VIII, підрозряд зорової роботи - "б" найменший розмір об'єкта розпізнання від 0,5 до 1,0 мм. Нормована освітленість відповідно до СНіП II-4-79 [38] складає 400 лк. Фактичне значення освітленості становить 400 лк, що відповідає нормованому.

З наведених вище даних можна зробити висновок, що температура повітря в лабораторії, відносна вологість і швидкість руху повітря не перевищують припустимих значень. Фактичний рівень шуму й освітленість відповідає нормативам. Запиленість приміщення перевищує норму внаслідок перевищення концентрації силікатів і силікат утримуючого пилу.

5.2 Техніка безпеки й протипожежна профілактика

Залежно від характеристики виробничого середовища згідно правил устрою електроустановок (ПУЕ) виробничі приміщення підрозділяються на: приміщення з підвищеною небезпекою; особливо небезпечні приміщення; приміщення без підвищеної небезпеки. Відповідно до ПУЕ приміщення

лабораторії ПрДВ відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою поразки електричним струмом, що обумовлено:

- безпосередній дотик до відкритих і струмоведучих частин і проводів, ізоляція яких ушкоджена;
- дотик до металевих частин устаткування, які випадково під напругою;
- помилкова подача напруги під час ремонту устаткування або оглядів електроустановок.

Коллективний й індивідуальний захист персоналу від впливу електричного струму забезпечується застосуванням технічних способів і засобів захисту, організаційними й технічними заходами. До основних технічних способів і засобів захисту від ураження електричним струмом належать: захисне заземлення; занулення; вирівнювання потенціалів; мала напруга; електричний поділ мереж; захисне відключення; ізоляція струмоведучих частин; компенсація струмів замикання на землю; попереджувальна сигналізація, блокування, знаки безпеки; огорожувальні пристрої; ізолюючі захисні й запобіжні пристосування. Як заходи по захисту від ураження електричним струмом необхідно дотримуватися Правил устрою електроустановок і Правил охорони праці. Із цією метою в лабораторії ведеться журнал по техніці безпеки й періодично проводиться навчання й інструктаж з охорони праці.

Згідно СНіП 2.09.02-85 [40] приміщення лабораторії ПрДВ відноситься до категорії «Г» пожежної небезпеки, а по вогнестійкості згідно СНіП 2.01.02-85 до II ступеня [40].

Пожежі в пресовій лабораторії можуть виникнути із причин перегріву, перевантажень і коротких замикань електроустаткування.

Для запобігання пожежі необхідно ретельно стежити за справністю технологічного встаткування; електричних установок, мереж, приладів освітлення, електродвигунів пресів і вентиляційної установки. У лабораторії також передбачені наступні заходи щодо техніки безпеки: переріз електропроводки обраний з урахуванням навантаження устаткування, що

виключає перевантаження мережі; головні електродвигуни приводів оснащені системою замкнутої примусової вентиляції й очищення повітря від пилу і його охолодження; статичний заряд відводиться в землю по мережі заземлення; є засоби пожежогасіння, що відповідають СНиП 2.09.02-85 [40] (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 - Первинні засоби пожежогасіння в лабораторії ПрДВ

Найменування приміщення	Площа	Вогнегасник вуглекислотний ОУ-2	Ящик з піском ємністю 0,3 м ³
Лабораторія ПрДВ	54 м ²	2	1

Автоматичною системою сигналізації й пожежогасіння лабораторія не оснащена. У лабораторії є план евакуації при пожежі, що знаходиться на видному місці. У випадку пожежі передбачені евакуаційні шляхи й виходи повинні бути завжди вільними, нічим не зашарженими й при пожежі забезпечити безпеку під час евакуації всіх людей, що перебувають у приміщенні. Кількість і розміри евакуаційних виходів із приміщень і будівель, їх конструктивні й планувальні рішення, умови освітленості, довжина шляхів евакуації відповідають протипожежним вимогам будівельних норм (СНиП 2.09.02-85) [40].

5.3 Заходи поліпшення умов праці в лабораторії

Зважаючи на те, що в лабораторії при роботі йде розсіювання на ситах твердих нетоксичних матеріалів, що порошать, доцільно для забезпечення необхідної якості повітряного середовища встановити місцеву витяжну систему - витяжний зонтик над столом, що призначений для розсіву матеріалів.

Як заходи по захисту від ураження електричним струмом пропонується використання захисного заземлення, ізоляція струмоведучих частин

захисного відключення, попереджувальна сигналізація, ізолюючи захисні й запобіжні пристосування, і встановлення знаків безпеки.

5.3.1 Розрахунок місцевої витяжної вентиляції

Вихідні дані:

Визначити середню швидкість і витрату повітря на відстані $H_1 = 0,5$ м і $H_2 = 1,5$ м над плитою, нагрітої до температури $t_n = 100^\circ\text{C}$, якщо температура навколишнього повітря $t_b = 21^\circ\text{C}$, а розмір плити $A \times B = 0,6 \times 0,5$ м.

Кількість тепла, що віддає плитою шляхом конвекції (тепловіддача):

$$Q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t, \text{ ккал/с}, \quad (5.1)$$

де F - площа плити, м^2 ;

α - коефіцієнт теплопереходу конвекцією, $\text{ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}$.

Коефіцієнт теплопереходу конвекцією:

$$\alpha = 2,8 \cdot \sqrt[4]{t_n - t_{окр}}, \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}. \quad (5.2)$$

$$\alpha = 2,8 \cdot \sqrt[4]{100 - 21} = 8,35 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град}.$$

$$Q = \frac{(0,6 \cdot 0,5) \cdot 8,35 \cdot (100 - 21)}{3600} = 0,055 \text{ ккал/с}.$$

Об'єм повітря L_0 у тепломому струмені, що піднімається над джерелом на відстані H_1 , приблизно становить:

$$L_0 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{Q \cdot F^2 \cdot H_1}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (5.3)$$

$$L_0 = 0,65 \cdot \sqrt[3]{0,055 \cdot (0,6 \cdot 0,5)^2 \cdot 0,5} = 0,088 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Середня швидкість струменя (вважаючи переріз струменя рівним площі джерела в плані):

$$V_{\text{ср}} = \frac{L_0}{F}, \text{ м/с}. \quad (5.4)$$

$$V_{\text{ср}} = \frac{0,088}{0,6 \cdot 0,5} = 0,29 \text{ м/с}.$$

Визначення швидкості, витрати й поперечника струменя на висоті установки витяжного зонта H_2 :

$$V_z = \frac{0,82 \cdot \sqrt[3]{Q}}{Z^{0,29}}, \text{ м/с.} \quad (5.5)$$

$$V_z = \frac{0,82 \cdot \sqrt[3]{0,055}}{1,8^{0,29}} = 0,263 \text{ м/с.}$$

$$L_z = 0,13 \cdot Z^{1,5} \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ м}^3/\text{с.} \quad (5.6)$$

$$L_z = 0,13 \cdot 1,8^{1,5} \cdot \sqrt[3]{0,055} = 0,118 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_z = 0,45 \cdot Z^{0,88}, \text{ м.} \quad (5.7)$$

де Z - відстань від кромки витяжного зонта до полюса струменя, м.

$$Z = H_2 + 2 \cdot d, \text{ м,} \quad (5.8)$$

де $d = 0,6$ м - більший габарит джерела тепловиділення.

$$Z = 1,5 + 2 \cdot 0,6 = 1,8 \text{ м;}$$

$$d_z = 0,45 \cdot 1,8^{0,88} = 0,755 \text{ м.}$$

Таким чином, приймаємо витяжний зонт із розмірами

$$a \times a = 0,8 \cdot 0,8 \text{ м,} \quad (5.9)$$

і продуктивністю

$$L_z = 0,118 \cdot 3600 = 425 \text{ м}^3/\text{год}$$

5.3.2 Розрахунок штучного освітлення

У лабораторії ПрДВ як джерело штучної системи освітлення застосовуються люмінесцентні лампи (типу ЛД) загального освітлення (джерело ближньої дії) з наступними характеристиками: номінальна потужність - 40Вт; номінальний світловий потік - 2340 лм; діаметр лампи - 40мм; довжина по штиркам - 1213,6 мм. Фактичний показник світлового потоку становить 2000 лм. Зробимо розрахунок освітлення по методу коефіцієнта використання, що призначений для розрахунку загального рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь при відсутності великих

предметів, що затемнюють. При розрахунку по цьому методі враховується як пряме, так і відбите світло. Перехід від середньої освітленості до мінімальної здійснюється в цьому методі приблизно. При розрахунку по методу коефіцієнта використання необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику (Φ) знаходиться по формулі:

$$\Phi = (E \cdot K_z \cdot S \cdot Z) / N \cdot \eta, \text{ лм}, \quad (5.10)$$

де: E - задана мінімальна освітленість, лк;

K_z - коефіцієнт запасу;

S – освітлювана площа, м^2 ;

Z – відношення $E_{\text{ср}}:E_{\text{мін}}$ (для люмінесцентних ламп – 1,10);

N - число світильників, шт.;

η - коефіцієнт використання світлового потоку в частках одиниці .

$$\Phi = (300 \cdot 1,10 \cdot 1,5 \cdot 54) / (6 \cdot 0,63) = 7071,42 \text{ лм}$$

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку " η " знаходиться індекс приміщення " i " і приблизно оцінюються коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення: стелі – $\rho_{\text{п}}$, стін – $\rho_{\text{с}}$, розрахункової поверхні освітлення (підлоги) – $\rho_{\text{р}}$.

Індекс приміщення знаходимо по формулі:

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)), \quad (5.11)$$

де: A - довжина приміщення, м;

B - ширина приміщення, м

h - розрахункова висота підвісу світильників, м.

$$i = (6 \cdot 9) / (2,2 \cdot (6 + 9)) = 1,64.$$

Приймаємо $i = 1,65$. Коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 63\%$ або в частках одиниці $\eta = 0,63$.

По розрахованому світловому потоку вибираємо підходящу стандартну лампу раніше визначеного типу, причому різниця між номінальним і розрахованим світловим потоком лампи допускається в межах $-10 \div 20\%$. Даному світловому потоку відповідає стандартна лампа ЛХБ 150 потужністю 150 Вт зі світловим потоком 8000 лм. Відхилення світлового потоку лампи від необхідного становить

$$(7071,42-8000)/7071,42=-0,13\%,$$

що знаходиться в межах припустимого.

Лампа ЛХБ 150 має наступні технічні характеристики: потужність - 150Вт, напруга на лампі – 90В, струм лампи - 1,9А, розрахований світловий потік після 100 годин горіння - 8000лм, довжина лампи - 1500,0 мм, довжина лампи по штирам - 1514,2мм, ТУОСШ.539.013.

5.4 Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

Обслуговуючий персонал забезпечується засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) безкоштовно, у відповідності зі штатним розкладом для виконання науково-дослідної роботи й на підставі "Типових галузевих норм безкоштовної видачі спецодягу, спецвзуття й запобіжних пристосувань" [37]. Розрахунок річної потреби засобів індивідуального захисту в науково-дослідній лабораторії, наведений у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Розрахунок річної потреби засобів індивідуального захисту

№ п/п	Штатний розклад	Кіл-ть людей	Найменування ЗІЗ	Строк носки, місяць	Всього
1	Головний науковий співробітник	1	- халат	12	1
2	Старший науковий співробітник	2	- окуляри;	до зношування	1
3	Інженер I категорії	2	-рукавиці комбіновані	1	12
4	Технік I категорії	1			
5	Разом:	6	- халати; - окуляри; - рукавиці		6 6 72

5.5 Висновки

У розділі проведений аналіз санітарно-гігієнічних умов у лабораторії, розглянута техніка безпеки й пожежна профілактика, виконані розрахунки штучного освітлення та місцевої витяжної вентиляції.

З наведених вище даних можна зробити висновок, що температура повітря в лабораторії, відносна вологість і швидкість руху повітря не перевищують припустимих значень. Фактичний рівень шуму й освітленість відповідає нормативам. По розрахованому світловому потоку обрано підходящу стандартну лампу типу ЛХБ 150

Запиленість приміщення перевищує норму внаслідок перевищення концентрації силікатів і силікат утримуючого пилу.

Коллективний й індивідуальний захист персоналу від впливу електричного струму забезпечується застосуванням технічних способів і засобів захисту, організаційними й технічними заходами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В наш час однією з основних задач металургів є збільшення терміну служби теплових агрегатів і зниження питомих витрат на вогнетриви, що відбивається на собівартості, якості і конкурентоспроможності кінцевої продукції. Периклазовуглецеві вогнетриви, які широко використовуються в виробництві сталі і мають високу вогнетривкість, ерозійно- і корозійностійкість та експлуатаційну надійність, користуються широким попитом в усьому світі.

2. В чорній металургії вогнетриви складу MgO-C використовують для футеровки конвертерів, електричних дугових печей і сталерозливних ківшів, в процесах ковшової металургії, виготовлення вузлів МБЛЗ тощо.

3. Аналіз властивостей периклазовуглецевих вогнетривів в основних металургійних агрегатах в процесі служби показав, що підвищення експлуатаційного ресурсу цих вогнетривів можливо шляхом стабілізації вуглецю і зниження його вигорання при високих температурах експлуатації.

4. На підставі проведених літературно-патентних досліджень встановлено, що найбільш поширеним способом стабілізації вуглецю у складі вуглецьвміщуючих вогнетривів є використання антиокислюючих добавок, які вміщують декілька антиоксидантів, або представляють собою сплав оксидів.

5. Периклазовуглецеві вогнетриви (ПУ) - це безобпалювальні вироби, сформовані під високим тиском. Шихтовими матеріалами для виробництва ПУ-вогнетривів для футеровки кисневих конвертерів є магнезит спечений і плавлений (вміст MgO 96-97,5%) фракцій 6-3,5 мм; 3,5-1 мм і 1-0 мм; суміш спільного помолу з магнезиту (фр. 1-0 мм) і 6% уротропіну; графіт FG+ 196 (8-11%); алюмінієвий порошок ПА-4 (3%); в'язуче Bakelite PF 7052 FL02 (3,5 % понад 100%).

6. Однією з основних умов отримання якісних ПУ-виробів є застосування в процесі виробництва сучасного обладнання. Тому

запропоновано використовувати для змішування шихти – планетарний змішувач ($d_q=1200$ мм, $d_k=500$ мм) ROTOMIX LX 600 з частотою обертів 220 об/хв. при нагріві чаші до 150 °С; для формування виробів – гідравлічний прес фірми «Лайс» НРФ-II-1600 (2500); для термообробки – тунельне сушило довжиною 30,6 м.

7. За результатами визначення впливу індивідуальних та комплексних антиоксидантів на ступінь окислювання вуглецю і показники властивостей експериментальних зразків, встановлено ефективність дії комплексних добавок, які забезпечують стабілізацію вуглецю в широкому інтервалі температур нагрівання.

8. Аналіз результатів досліджень впливу індивідуальних добавок на розвиток антиокислювальних процесів у периклазовуглецевих зразках і показники властивостей зразків при температурах нагріву 1000 °С і 1400 °С виявив температурні інтервали їх більш ефективної дії, що надало можливість оптимізувати склад комплексних антиоксидантів.

9. На підставі проведених досліджень оптимізовано склад комплексного антиоксиданту, який вміщує металічний алюміній, металічний кремній і борну кислоту у співвідношенні 1:1:1 в кількості 4 %. Таким чином, отримані результати можуть бути використані для подальшої оптимізації речовинного складу антиоксидантів.

10. В економічній частині дипломної роботи виконані економічні розрахунки щодо витрат на проведення науково-дослідної роботи, спрямованої на пошук найбільш ефективних антиокислювальних домішок для периклазовуглецевих вогнетривів.

11. В розділі "Охорона праці" розглянуто небезпечні фактори, що діють в умовах науково-дослідницької лабораторії та запропоновано заходи щодо покращення умов праці.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Аксельрод Л.М., Лаптев А.П., Шляпин А.А. Огнеупорные материалы и способы повышения стойкости футеровки конвертеров по опыту ООО «Группа «Магнезит». // Новые огнеупоры – 2008. - №1. – С. 5-9.
2. Кушнарев А.В., Вислогузова Э.А., Устенко А.С. и др. Опыт использования MgO-содержащих материалов для повышения стойкости футеровок конвертеров. // Новые огнеупоры – 2007. - №4. – С. 3-5.
3. Бааске А. Огнеупорные материалы: разработки, тенденции, доступность [Текст] / А. Бааске, Д. Дюберс, Р. Фандрих и др. // Черные металлы. – 2011. – №9. – С. 32-39.
4. Современные огнеупоры: ресурсосбережение и применение в металлургических технологиях [Текст]: Сб. научн. тр. / под ред. проф., д.т.н. А.Н.Смирнова. – Донецк: ДонНТУ. – 2013. – 200 с.
5. Аксельрод Л. М. Развитие производства огнеупоров в мире и в России, новые технологии [Текст] / Л. М. Аксельрод // Новые огнеупоры. — 2011. — № 3. — С. 106–119.
6. Кащеев И. Д. Свойства и применение огнеупоров [Текст]: справочное издание / И. Д. Кащеев. — М.: Теплотехник, 2004. — 352 с.
7. Хорошавин Л. Б. Углеродизация огнеупоров [Текст] / Л. Б. Хорошавин, В. А. Перепелицын // Огнеупоры и техническая керамика. — 1999. — № 6. — С. 4–16.
8. Кащеев И.Д. Оксидноуглеродистые огнеупоры. – М.: „Интермет Инжиниринг”, 2000. – 265с.
9. Кащеев И.Д. Огнеупоры для промышленных агрегатов и топков [Текст]: справочное издание: в двух книгах. Кн. 1 / И.Д. Кащеев, В.Г. Алфеева и др. М.: «Интермет Инжиниринг», 2000. – 663 с.
10. Дымченко Е.Н., Коцур С.Д., Товкун В.И. и др. Повышение эффективности применения огнеупоров в футеровке конвертеров и агрегата печь – ковш ОАО «Енакиевский металлургический завод». // Новые огнеупоры – 2004. - №11. – С.3 – 8.

11. Кащеев И.Д., Сизов В.И., Панин О.А. Свойства периклазоуглеродистых огнеупоров с добавками металлических порошков. // Огнеупоры – 1989. - №8. – С. 7-9.
12. Кривокоритов Е.В., Кононов Н.В., Осипчик В.С и др. Безобжиговые периклазоуглеродистые огнеупоры на терморезактивном полимерном связующем. // Огнеупоры и техническая керамика – 1999. - №1-2. – С. 19-24.
13. Осипов В.А., Кочубеев Ю.Н. и др. Разработка оптимального состава шихты для периклазоуглеродистой футеровки сталеразливочных ковшей ЭСПЦ. // Новые огнеупоры – 2007. - №11. – С. 56-58.
14. Федосеев В.П., Пыриков А.Н., Горностаев А.Н. Опыт использования периклазоуглеродистых изделий в футеровке сталеразливочных ковшей. // Новые огнеупоры – 2004. - №4. – С. 92
15. Лобанов С.П., Носов А.Д., Корнеев В.М. и др. Повышение стойкости огнеупорной футеровки 385-т сталеразливочных ковшей. // ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия» – 2003. - №6. – С. 52-53.
16. Камелли С., Лобадие М. Анализ механизма износа MgO-C кирпича шлакового пояса сталеразливочных ковшей. // Огнеупоры и техническая керамика – 2007. - №3. – С. 22-26.
17. Серова Л.В., Зарихина Л.В., Чудинова Е.В. Использование оксидоуглеродистых огнеупоров в сталеразливочных ковшах в условиях Нижнетагильского металлургического комбината. // ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия» – 2007. - №9. – С. 70-72.
18. Нагорный А.П., Кравченко А.И., Ильин В.В и др. Применение безобжиговых периклазоуглеродистых огнеупоров в элементах футеровки 350 – т сталеразливочных ковшей. // Огнеупоры и техническая керамика – 1998. - №2. – С. 37-39.
19. Рашников В.Ф., Кунгурцев В.Н., Миронова Л.В. и др. Производство и применение периклазоуглеродистых ковшевых огнеупоров

// ОАО «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия» – 2002. - №6. – С. 31-34.

20. Касьян Г.И., Минц А.Я. Возможность повышения стойкости футеровки сталеразливочных ковшей при использовании магниезиальных шлакообразующих добавок. // Новые огнеупоры – 2008. - №10. – С. 13 – 16.

21. Семченко Г.Д., Шутеева И.Ю., Вильк О.А. Исследование возможности использования корундо- и цирконийсодержащих обмазок для защиты от окисления графитовых изделий. // Вестник Национального технического университета «ХПИ» – 2005.- №51. – С.32 – 37

22. Патент 2163900 Россия, МКИ С04В35/103, С04В35/66 Способ изготовления углеродсодержащих огнеупоров / Энтин В.И., Анжеуров Н.М., Карась Г.Е. Россия / - №2000108318/03, заявл. 03.04.2000; опубл. 10.03.2001; Бюл. №3. – 7 с.

23. Патент 81494 - Украина, МПК6 С04В35/52, С04В41/87Спосіб захисту графітових виробів від окиснення / Семченко Г.Д., Шутеева И.Ю., Руденко Л.В., Старолат О.Є.Україна /. - № 200511955, заявл. 13.12.2005; опубл. 10.01.2008; Бюл. «Промислова власність.» № 1, 2008, 3.90 с.

24. Патент 52758 - Украина, МПК6 7С04В35/10Шихта для виготовлення вогнетривких виробів / Примаченко В.В., Устиченко В.А., Буніна В.П., Грицюк Л.В., Солод О.Ю., Ткаченко Л.П.Україна /. - № 2000010096, заявл. 05.01.2000; опубл. 15.01.2003; Бюл. «Промислова власність.» № 1, 2003, 3.67 с.

25. Бамбуров В.Г., Сивцова О.В., Семянников В.П. и др. Антиоксиданты в углеродсодержащих огнеупорах // Огнеупоры и техническая керамика – 2000. - №2. – С. 2-5

26. Андриевских Л.И., Бочаров Л.Д., Коптелов В.Н. и др. Периклазоуглеродистые огнеупоры на связке из технических лигносульфонатов с добавками комплексного действия. // Огнеупоры – 1991. - №3. – С. 13-16.

27. Патент 25808 Россия, МКИ 6С04В35/04 Магнєзіальноуглецевий во-гнетрив / Борисов В.Г., Єрмоличев Д.А., Кабаргін

С.Л., Тараканчиков Г.А., Ентін В.І. Россия / - №98105270, заявл. 06.10.1998; опубл. 15.09.2000; Бюл. «Промислова власність.» , № 4, 2000, 3.1.178 с.1

28. Патент 17561 - Україна, МПК6 С04В35/03, С04В35/04, С04В41/82 Спосіб виготовлення периклазових вогнетривких виробів/ Курзанова В.І. Україна / - № 20041008245, заявл. 11.10.2004; опубл. 16.10.2006; Бюл. «Промислова власність.» № 10, 2006 5.85 с.1

29. Симонов К.В., Коптелов В.Н., Бурдина Г.В. Влияние антиокислительных добавок на свойства периклазоуглеродистых огнеупоров на нетоксичной связке. // Огнеупоры – 1989. - №10. – С. 32-34.

30. Огнеупорные изделия, материалы и сырье: Справочное издание / А.К. Карклит, Н.М. Пориныш, Г.М. Каторгин и др. – М.: Metallurgiya, 1991.- 416 с.

31. Технологическая инструкция на изготовление в ЦМИ периклазоуглеродистых изделий [Текст] : ТИ 00191885.25300.ПУ160:2014 // ПАО «Запорожогнеупор», 2014. – 114 с.

32. Карапетянц М.Х, Дракин С.И. Общая и неорганическая химия. – М.: Химия, 1994. – 563 с.

33. ГОСТ 18704-78 / Борная кислота. Введено впервые 20 ноября 1978. – Госстандарт СССР, 1978. – 12 с.

34. ГОСТ 2169-69 / Кремний металлический. Введено впервые 12 января 1969. – Госстандарт СССР, 1969. – 10 с.

35. ДСТУ 5494-95 / Алюминиевая пудра. Введено впервые 1 марта 1995. – Госстандарт Украины, 1995. – 18 с.

36. ДСТУ ISO 5017:2014 / Материалы и изделия огнеупорные. Методы определения водопоглощения, кажущейся плотности, открытой и общей пористости. Введено впервые 1 сентября 2015. – Минэкономразвития Украины, 2015. – 10 с.

37. Откидач В.В., Вышинский В.В. Охрана труда в огнеупорном производстве.- М.: Metallurgiya, 1990- 136 с.

38. Каракаш А.И., Щедрин Г.А., Ленский Ю.Н. и др. Охрана труда в черной металлургии. - К.: УМК ВО, 1992. – 160 с.

39. ГОСТ 12.1.005-88 / Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). Введено взамен ГОСТ 12.1.005-76 1 января 1989. – Госстандарт СССР, 1989. – 77 с.

40. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоато-мИздат, 1981 – 824 с.