

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ  
І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Пояснювальна записка  
до випускної магістерської роботи  
зі спеціальності 136 – Металургія

На тему: Розробка і дослідження технології виготовлення екзотермічних  
формувань сумішей для лиття залізовуглецевих сплавів

Виконав: магістрант групи ЛВ-23-1м \_\_\_\_\_ Гобвел Е.Т.  
Керівник випускної роботи \_\_\_\_\_ Східін І.Е.  
Нормоконтролер \_\_\_\_\_ Східін І.Е.  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Савельєв С.Г.

Кривий Ріг  
2023р.

## Зміст

Вступ .....	3
Розділ 1. Стан питання та завдання дослідження.....	4
1.1 Призначення і сфера застосування екзотермічних сумішей.....	4
1.2 Сполуки формованих екзотермічних сумішей для виливків з різних сплавів. Спільність і відмінність у їхніх складах.....	6
1.3 Роль основних компонентів у складах екзотермічних сумішей і їхній вплив на властивості сумішей і роботу прибутку.....	11
Розділ 2. Методика досліджень.....	23
2.1 Визначення міцності ХТЕС (холоднотверднучих екзотермічних сумішей).....	23
2.2 Визначення живучості ХТЕС.....	24
2.3 Аналіз відомих методик з визначення теплофізичних властивостей екзотермічних сумішей.....	26
2.4 Розроблення методики дослідження температури горіння ( $t_{max}$ ), температури займання ( $t_0$ ) і швидкості горіння $V_{гор}$ екзотермічних сумішей.....	29
2.5 Вибір і характеристика матеріалів.....	31
Розділ 3. Дослідження і розробка холоднотвердіючих екзотермічних сумішей стосовно відливків із чорних сплавів.....	34
3.1 Дослідження впливу складу ХТЕС на технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості .....	34
3.1.1.1 Дослідження впливу компонентів ХТЕС на рідкому склі на живучість.....	37
3.1.1.2 Дослідження впливу компонентів ХТЕС на рідкому склі на властивості міцності.....	38
3.1.1.3 Дослідження впливу компонентів ХТЕС на рідкому склі на теплофізичні властивості.....	40
3.1.1.4 Дослідження впливу легковагих вогнетривких наповнювачів на технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості ХТЕС на рідкому склі.....	42
3.1.2 Розробка математичних моделей і дослідження впливу компонентів на властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.....	47
3.1.2.1 Дослідження впливу компонентів на живучість ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.....	51
3.1.2.2 Дослідження впливу компонентів на властивості міцності ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.....	51
3.1.2.3 Дослідження впливу компонентів на теплофізичні властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.....	51

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.3*

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гобвел Е.Т.			Зміст	Лит.	Лист	Листов
Перевір.		Скідін І.Ф.						
Реценз								
Н. Контр.		Скідін І.Ф.				<b>каф.МЧМЛВ</b>		
Затверд.		Савельєв С.Г.				<b>група ЛВ-23-1м</b>		

3.1.2.4 Дослідження впливу легковагих наповнювачів на властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.....	56
3.2 Дослідження осипання ХТЕС.....	58
3.3 Оптимізація складів ХТЕС для виливків із чорних сплавів.....	58
Розділ 4. Виробнича перевірка, впровадження та технологія виготовлення виробів з ХТЕС.....	61
4.1 Конструкція і виготовлення оболонок з ХТЕС.....	61
Загальні висновки.....	63

		Гобвел Е.Т.			<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.3</i>	Арк.
		Скідін І.Ф.				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Екзотермічні суміші широко застосовуються в ливарному виробництві для обігріву надливів виливків з різних видів сплавів, підвищуючи ефективність живлення рідким металом виливків і скорочуючи масу надливів, тим самим, підвищуючи вихід придатного литва.

Відомі сполуки екзотермічних сумішей містять кілька груп компонентів різного функціонального призначення:

- окиснювані компоненти (алюмінієвий порошок, феросиліцій, силікокальцій і ін.);
- окиснювачі (залізорудні мелені концентрати, залізна окалина, натрієва й калієва селітри й ін.);
- наповнювачі (кварцовий пісок, шамотний порошок і інші);
- каталізатори (фтористі сполуки лужних металів);
- сполучні матеріали (вогнетривка глина, декстрин, лігносульфонати, рідке скло, синтетичні смоли й ін.).

По прийнятій виробничій практиці технології, що й установився, практично всі екзотермічні вироби одержують формуванням їх «по-сирому» з наступної тепловим сушінням при температурі 150...200 °С протягом декількох годин для додання їм необхідної міцності й видалення надлишкової вологи, що подовжує цикл виготовлення екзотермічних оболонок і вставок. У зв'язку із широким застосуванням в останні роки холоднотвердіючих сумішей (ХТС) при виготовленні стрижнів і форм, використання екзотермічних сумішей з тепловим сушінням створює певні незручності у виробництві виливків і розрив технологічного циклу у виготовленні виливків із застосуванням ХТС.

Тому розробка екзотермічних сумішей, які твердіють на повітрі в заданий час, що й виключають теплове сушіння, представляється досить актуальним завданням.

Можливість одержання самотвердіючих екзотермічних сумішей відкриває перспективу централізованого виробництва й поставки споживачам готових екзотермічних виробів.

З різних видів самотвердіючих композицій для готування ХТЕС (самотвердіючих екзотермічних сумішей) обрано дві:

- а) на основі неорганічного сполучного — рідкого скла, який твердне рідкими складноєфірним реагентами, як найбільше розповсюджені й дешевими з, що застосовуються в ливарному виробництві;

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.Вс</i>			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Гобвел Е.Т.			Вступ	Лит.	Лист	Листов
Перевір.		Скідін І.Ф.						
Реценз								
Н. Контр.		Скідін І.Е.						
Затверд.		Савельєв С.Г.						
						<b>каф.МЧМЛВ</b> <b>група ЛВ-23-1м</b>		

б) на основі органічних сполучних із числа синтетичних смол - малотоксичних лужних поліфенолів або лужних фенолформальдегідних смол резольного типу, отверждаємих комплексними складнофірними реагентами.

**Метою роботи була** розробка ХТЕС, у тому числі сумішей з легковагими наповнювачами, які мали б комплекс теплофізичних властивостей, властивих відомим екзотермічним сумішам і необхідними технологічними й міцними характеристиками.

#### **Завдання досліджень**

1) Дослідження самотвердіючих екзотермічних сумішей для виливків із чорних сплавів які виключають теплове сушіння двох типів сполучних:

а) неорганічних матеріалів - рідкого скла, твердіючого рідкими складнофірним реагентами;

б) органічних сполучних матеріалів — малотоксичних лужних фенолоформальдегідних смол, твердіючих комплексним складнофірним реагентом.

2) Дослідження впливу інгредієнтів ХТЕС на їхні технологічні, прочностні й теплофізичні властивості

3) Розробка технології виготовлення виробів із ХТЕС.

Для готування суміші було обрано відомі складові екзотермічних сумішей: алюмінієвий порошок, залізна руда, калієва селітра, кріоліт й різний наповнювач з використання згаданих вище композицій, що при розробці ХТЕС використовувалися.

Досліджений вплив різних компонентів і технологічних факторів на технологічні, міцні й теплофізичні властивості. Розроблені оптимальні сполуки ХТЕС для обігріву надливів виливків із чорних сплавів з необхідними властивостями.

**Практична цінність:** роботи полягає в розробці оптимальних сполук ХТЕС із заданими технологічними, міцними й теплофізичними властивостями. Розроблені ХТЕС рекомендовані для виготовленні виливків з різних видів сплавів масою від 50 кг до 8 тонн.

### **1. Призначення й область застосування екзотермічних сумішей**

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.Вс</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Екзотермічні суміші застосовуються для обігріву ливарних надливів при виробництві виливків і злитків з різних сплавів. Це дозволяє підвищити ефективність живлення рідким металом виливків (злитків), скоротити маси надливів і підвищити вихід придатного литва. Збільшення виходу придатного литва при виробництві виливків може бути досягнуто двома основними шляхами:

- 1) уповільненням відводу тепла від металу надливу;
- 2) прискоренням відводу тепла від виливка.

Широке застосування другого методу обмежене дефіцитністю й порівняно високою вартістю матеріалів з підвищеної теплоакумуючої здатністю, а також деяким ускладненням процесу виготовлення форм.

Тому в практиці ливарного виробництва найбільше поширення одержали різні методи, що сприяють збільшенню тривалості затвердіння надливів виливків.

У літературі зустрічаються такі методи збільшення тривалості затвердіння надливу, як використання оптимальної геометричної форми надливів [1, 2, 7], вибір раціонального способу заливання форми, місця підведення металу, температури заливання [4, 5, 6], поворот форми після заливання на певний кут [7, 8], застосування підвищеного тиску в прибутку [4, 7, 9, 10]. Крім цього, відомо кілька способів, що дозволяють суттєво підвищити вихід придатного при виробництві виливків за рахунок утеплення або обігріву надливів.

Як правило, збільшення тривалості затвердіння надливу виливка досягається:

- 1) утепленням надливів теплоізоляційними матеріалами [1];
- 2) обігрівом надливів екзотермічними сумішами [1].

Як показала практика, обігрівши надливів виливків з різних сплавів екзотермічними сумішами є простим, надійним і найбільш ефективним засобом підвищення виходу придатного.

Найбільш широке застосування екзотермічні суміші знайшли при виготовленні виливків із чавуну й стали різних марок.

Виділення тепла екзотермічними сумішами засноване на відновленні оксидів металів кремнієм, алюмінієм, магнієм і іншими металами.

Схематично металотермічна реакція може бути представлена рівнянням:

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Гобвел Е.Т.			Призначення й область застосування екзотермічних сумішей	Листів
Перевір.		Скідін І.Ф.				група ДВ-23-1м
Реценз						
Н. Контр.		Скідін І.Ф.				
Затверд.		Савельєв С.Г.				

$M_i + MO = M_{io} + M + Q$  кал, де

$M_i$  — метал, що застосовується для відновлення,

$MO$  — оксид відновлюваного металу,

$M_{io}$  — оксид окиснюваного металу,

$M$  - метал, відновлений з оксиду.

У цей час екзотермічні суміші використовуються для:

- а) засипання поверхні металу надливу виливка [12];
- б) облицювання порожнини надливу виливка або виготовлення екзотермічних оболонок [11].

У літературі [10] є відомості про застосування екзотермічних сумішей спеціального призначення, використовуваних для виконання окремих елементів ливарної форми з метою створення умов спрямованого затвердіння виливків і усунення на них технологічних напусків металу, однак таке застосування екзотермічних сумішей не одержало великого поширення, оскільки при цьому трохи зростає трудомісткість виготовлення ливарної форми з екзотермічними елементами, розташованими в робочій порожнині.

З розглянутих вище сумішей, призначених для зменшення втрат тепла металом надливу, для нас найбільший інтерес представляють екзотермічні суміші для облицювання надливу й виготовлення оболонок, так як вони значно ефективніше теплоізолюючих засобів і можуть надати підвищення виходу придатного литва.

Великий виробничий досвід розробки й застосування формуємих екзотермічних сумішей для обігріву надливів сталевих і чавунних виливків дозволяє сформулювати певні вимоги до екзотермічної суміші, до найважливіших з яких ставляться наступні:

- 1) висока теплотворність суміші при низькій температурі її запалення, що забезпечує саму можливість порушення екзотермічної реакції, і спокійне горіння суміші з невеликою швидкістю;
- 2) по можливості низький охолоджуючий ефект суміші до й досить високі теплоізолюючі властивості суміші після протікання екзотермічних реакцій;
- 3) відсутність взаємодії суміші з металом надливу;
- 4) збереження форми й розмірів оболонки із суміші після протікання в ній екзотермічних процесів;
- 5) не дефіцитність компонентів і низька вартість суміші;
- 6) задовільні технологічні властивості суміші на стадії виготовлення виробів необхідної форми й розмірів;
- 7) гарні санітарно - гігієнічні умови праці при використанні сумішей;
- 8) найбільша ефективність дії при мінімальній витраті на одиницю

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС				

придатного литва.

Одночасне виконання всіх перерахованих вимог є складним завданням, успішний розв'язок якої неможливо без глибокого вивчення процесів, що протікають при взаємодії компонентів, впливу компонентів на властивості екзотермічних сумішей, а також технологічного процесу виготовлення виробів з екзотермічних сумішей.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 1.2 Сполуки формуємих екзотермічних сумішей для виливків з різних сплавів. Спільність і відмінність у їхніх сполуках

Відомо велика кількість екзотермічних сумішей різних сполук для виливків із чавуну й сталі, що одержали в різний час поширення в Російській Федерації, країнах СНД і за рубежом. У таблиці 1 і 2 наведені характерні сполуки (у масових частинах) відомих екзотермічних сумішей, використовуваних при виробництві виливків з різних сплавів.

У таблиці 1 для суміші 1 у якості сполучного замість рідкого скла можна використовувати лігносульфонати технічні. У суміш 4 уводиться вода понад 100 % від сухої маси. Для суміші 5 у якості сполучного замість декстрину можна використовувати рідке скло й лігносульфонати технічні.

Аналіз сполук екзотермічних сумішей, наведених у таблицях 1 і 2, дозволяє виділити п'ять груп компонентів:

- 1) окиснювані або горючі;
- 2) окиснювачі;
- 3) каталізатори;
- 4) наповнювачі;
- 5) сполучні.
- 6)

Таблиця 1 - Сполуки екзотермічних сумішей застосовуваних в Україні при виробництві виливків зі сталі й чавуну (мас. %).

Компоненти сумішей	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі й чавуну	Для виливків зі сталі й чавуну	Для виливків із чавуну	Для великих сталевих виливків	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі
Відновлюючі										
Алюмінієвий порошок	23,5-25,5	-	-	9-11	19-23	10,5-18,0	10-25	11-19	9-12	18-30
Силумінова	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-
Алюмінієвий відхід дробеметного очищення алюмінієвих виробів	-	21-23	-	-	-	-	-	-	-	-

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Феросиліцій ФС 75 (75%Si)	-	-	20-40	-	-	-	-	-	-	-
Вуглецевий матеріал (75 і більш %) вуглецю						5-12				

Продовження таблиці 1

Компоненти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі і чавуну	Для виливків зі сталі й чавуну	Для виливків із чавуну	Для великих сталевих виливків	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі	Для виливків зі сталі
<b>Окиснювачі</b> Хромова руда Залізна окалина Залізна руда Марганцева руда Натрієва селітра	11-14   3,5-4,5	40-44	55-75  3,5-5,0	  7-9	  10-15 3-5	5-25 25-50  3-15	20-40	65-72,5	50	45-65
<b>Каталізатори</b> Кріоліт Плавииковий шпат Борна кислота Сульфат барію	1-3	2-3	-	2-4	4-6	-	-	0,5-5,0	1,0-1,5	7-20
<b>Наповнювачі</b> Термооброблена тирса Шамот мелений Доломитова крихта Пісок кварцовий Хромитовий порошок Коксова зола	2-10 8-39	  17-23	-	-	-	  3-25	  20-80	-	21-25	5-15
<b>В'язучі</b> Глина каолінова Рідке скло Лігносульфонат технічний Декстрин	8-16 12-19	5-6 5,0-5,5 2,5-3,0	  1,5-5	До 100% До формуємості	 5-10 3-5	5-10 5-10	5-10	11-16	5 8-9	 2-5

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожна група компонентів відіграє певну роль у доданні сумішам тих або інших властивостей. Кількісне співвідношення компонентів у суміші, їх якість і ступінь здрібнювання твердих компонентів визначають властивості екзотермічної композиції.

Екзотермічні суміші для надливів чавунних і сталевих виливків у ряді випадків можуть виготовлюватись з однакових матеріалів. Основна відмінність полягає в тому, що сполука екзотермічної суміші для чавунних виливків повинен забезпечувати більш низьку температуру запалення, чому суміші для сталевих виливків, тому що одним з факторів визначальних температуру запалення суміші є температура заливання металу.

Таблиця 2 — Сполуки екзотермічних сумішей, застосовуваних за рубежом (мас. % ) при виробництві виливків зі сталі й чавуну

Компоненти сумішей	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Окиснювані</b> Алюмінієвий порошок Феросиліцій ФС 75 (75%Si)	40-50	30	10-14	23	23	9,5	9,5	30	50	35	16 0,5-5,0
<b>Окиснювачі</b> Залізна окалина Залізна руда Двоокис марганцю Окис заліза Нітрат натрію Нітрат калію Нітрат барію Натрієва селітра Хлорат	10	50	0-6	50 10	5 10	12 10 1	12 10	3 12	10	10 9	12 9,5
<b>Каталізатори</b> Фториди лужних металів Плавииковий шпат Фторид натрію Кріоліт	5 1	1-2	-	2 2	5	4	4	2	3	7	1,5 4,5
<b>Наповнювачі</b> Шамот мелений Пісок кварцовий Дрібні відходи шліфування скла Азбестове скло Тирса Кокс мелений	-	1-2	50-82 4-12	10	48	9,5 47	9,5 47	50	23	37	40 12,5

Сполучні	25-30	3-5	3-12	3	8 1	5 -7	5 -7	3	2 5	2	2 6- 12
Глина вогнетривка											
Бентоніт											
Глинистий сланець											
Рідке скло											
Борна кислота											
Сульфідний луг (лігносульфонат технічний)											
Фенольна смола											
Декстрин											

Іншим фактором, що визначають температуру запалення екзотермічної суміші є розмір прибутку, тому порівняння температури запалення екзотермічних сумішей для сталевих і чавунних виливків можна вести за умови однакового розміру надливів. Крім того, сполука екзотермічної суміші повинен забезпечувати нагрівання металу й знаходження його в рідкому стані максимально можливий час, отже температура горіння екзотермічних сумішей для сталевих виливків повинна бути вище, оскільки температура ліквідус у сталі вище, чим у чавуну. Тому відмінність у сполуках найчастіше полягає взагалі в кількісному змісті термітної складової й наявності або відсутності добавок спеціального призначення (каталізатори, комплексні окиснювачі), що регулюють теплофізичні властивості екзотермічних сумішей. Крім того, внаслідок небезпеки науглецювання металу в екзотермічних сумішах для сталей, як правило, не застосовуються вуглецевомісткі компоненти.

Щодо сполук екзотермічних сумішей застосовуваних в Україні, можна відзначити, що в якості пального (суміші №№1, 4-10, табл. 1) застосовується взагалі алюмінієвий порошок або матеріали його, що заміняють і утримуючі алюміній (силумінова стружка, відходи виробництва алюмінієвих виробів і ін.). Застосування як горючі компоненти кремній- і вуглецевомісткі матеріалів (суміші №№3, 6 табл. 1) не одержало широкого поширення.

Більшість вітчизняних екзотермічних сумішей (суміші №№1-7, 9, 10 табл. 1) містить у якості окиснювача матеріали на основі оксидів заліза, крім того, суміші часто містять ще який-небудь окиснювач (суміші №№1, 5, 6, табл. 1) (наприклад, марганцеву руду). Також знаходять застосування легкоруйнівні кисневмісні хімічні сполуки (суміш №3, табл. 1), хоча й не так широко, як оксиди металів.

Застосування каталізаторів для створення оптимальних умов протікання екзотермічної реакції не завжди має місце, для цього застосовуються взагаліфторомісткі матеріали (суміші №№1, 2, 4, 5, 9 табл. 1) - кріоліт, плавиковий шпат (фторид кальцію), фторид натрію.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У якості вогнетривких наповнювачів у вітчизняних екзотермічних сумішах найчастіше застосовуються (суміші №№1, 6, 9 табл. 1) досить розповсюджені шамотний порошок і кварцовий пісок. Також знаходять застосування комбіновані наповнювачі, наприклад, шамотний порошок у комбінації із кварцовим піском. Відоме застосування як наповнювачі високовогнетривких наповнювачів, застосовуваних при виготовленні разових ливарних форм і стрижнів, таких як хроміт (суміш №2, табл. 1). Крім того, у якості наповнювачів не завжди використовуються вогнетривкі матеріали. Ці матеріали ( тирса й ін.) уводяться в суміш (суміші №1, 6, 10, табл. 1) з метою підвищити теплоізолюючі властивості екзотермічних сумішей, тому що продукти горіння таких матеріалів мають низьку щільність. Крім того, вуглецевмісткі добавки можуть впливати на протікання термохімічної реакції й теплофізичні властивості екзотермічних сумішей.

Сполучні матеріали, застосовувані в екзотермічних сумішах - рідке скло, лігносульфонати технічні, бентоніт, вогнетривка глина, декстрин і ін. є досить розповсюдженими й служать для додання міцності виробам з екзотермічних сумішей.

Перед тим як розглядати сполуки екзотермічних сумішей застосовуваних за рубежем, необхідно відзначити, що останнім часом на світовому ринку матеріалів для ливарного виробництва з'явилися різні екзотермічні порошкоподібні композиції й навіть готові екзотермічні оболонки різних типорозмірів. Сполуки більшості таких композицій і матеріалів невідомі й не розкриваються. Тому нижче аналізуються відомі сполуки екзотермічних сумішей, узяті з різних літературних джерел.

В екзотермічних сумішах, застосовуваних в інших країнах, аналогічно вітчизняним сумішам, пальним, як правило, є алюмінієвий порошок (суміші №1-11, табл. 2).

Окиснювачами в закордонних екзотермічних сумішах також є матеріали на основі оксидів заліза (залізна руда, окалина) або марганцю (марганцева руда), однак, на відміну від вітчизняних часто зустрічаються різні сполуки (суміші №1, 4-11, табл. 2), що легко віддають кисень при нагріванні (нітрати, хлорати й ін.). Ці легкорозкладаємі сполуки застосовуються як окиснювачі, як правило, у комплексі з оксидами заліза й марганцю.

Каталізаторами за аналогією з вітчизняними екзотермічними сумішами є в більшості випадків фторовмісткі матеріали, при цьому вони частіше застосовуються на практиці (суміші №№1, 2, 4-11, табл. 2).

У якості наповнювачів у закордонних сумішах також як і у вітчизняні застосовуються різні розповсюджені вогнетривкі матеріали - шамотний порошок, кварцовий пісок. Крім того, у якості наповнювача знаходять застосування відходи шліфування скла, азбестове скло й ін. Також як і в деяких вітчизняних сумішах

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

Арк.  
Арк.

Змі.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Змі.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

роль наповнювача можуть виконувати органічні або вуглецевомісткі матеріали ( тирса, кокс).

Сполучні матеріали, застосовувані в закордонних екзотермічних сумішах, практично ні чому не відрізняються від вітчизняних.

Таким чином, аналіз сполук вітчизняних і закордонних екзотермічних сумішей показав, що відмінність полягає взагалі в кількісному змісті компонентів і використанні різних матеріалів виконуючих ту саму функцію. Загальне в сполуках більшості екзотермічних сумішей є те, що практично всі вони включають п'ять груп компонентів перерахованих вище (окиснювані, окиснювачі, каталізатори, наповнювачі, що в'яжуть).

У якості пального в більшості екзотермічних сумішей як закордонних, так і вітчизняних застосовуються матеріали на алюмінієвій основі (як правило, алюмінієвий порошок). Використання як пального інших матеріалів (кремній і вуглецевомісткі) не одержало широкого поширення.

Основними окиснювачами, як у вітчизняних, так і в закордонних сумішах, найбільше часто є оксиди заліза, марганцю й рідше хрому. Результатом удосконалення екзотермічних сумішей з'явилася часткова й, навіть, повна заміна в їхній сполуці оксидів, що термічно важко розкладають, заліза сполуками, що легко віддають кисень при нагріванні (нітратами, хлоратами й ін.). Такі суміші одержали назву екзотермічних сумішей з комплексним окиснювачем.

Практично у всіх закордонних сумішах застосовуються комплексні окиснювачі. Застосування легкоруйнівних сполук у вітчизняних сумішах зустрічається значно рідше.

У якості каталізаторів у вітчизняних і закордонних екзотермічних сумішах знайшли застосування фтористі сполуки - кріоліт, фтористий натрій, а також плавиковий шпат ( $\text{CaF}_2$ ) — порівняно дешеві природні матеріали. Застосовувані в якості легкоруйнівних окиснювачів нітратаи лужних або лужноземельних металів також одночасно можуть відігравати роль каталізаторів. Уведення в суміш цих добавок має на меті знизити температуру запалення тоекзотермічної суміші, а також стабілізувати процес горіння екзотермічних сумішей.

Загальною рисою переважної більшості екзотермічних сумішей застосовуваних в Україні й інших країнах є те, що майже всі відомі сполуки екзотермічних сумішей передбачають зміцнення виробів з них взагалі за допомогою теплового сушіння. Тому в якості сполучних для вітчизняних і закордонних екзотермічних сумішей набули застосування сполучні матеріали, що забезпечують високі зміцнені характеристики сумішей після теплового сушіння й сприятливі збереженню розмірів і форми оболонок після завершення в них екзотермічних реакцій. При цьому за рубежом більш широке застосування знайшли органічні сполучні.

*КНУ РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Враховуючи різноманіття сполук і матеріалів, застосовуваних в екзотермічних сумішах, при розробці сполук екзотермічних сумішей необхідно вибрати найбільш ефективні в застосуванні й найменш дефіцитні матеріали. Також при розробці сполук екзотермічних сумішей необхідно вивчити наявні літературні дані по впливу різних компонентів на властивості екзотермічних сумішей.

Аналіз вітчизняних науково-дослідних робіт, патентів і авторських посвідчень показав, що основними напрямками по вдосконаленню при розробці сполук екзотермічних сумішей були:

1) підвищення стабільності протікання термохімічної реакції, то є забезпечення по можливості регулювання температури запалення, високої температури горіння й оптимальної швидкості горіння. Це досягалося за рахунок вибору оптимальної сполуки екзотермічних сумішей, застосування комплексних окиснювачів, що легко віддають кисень при нагріванні, крім оксидів заліза застосовуються оксиди марганцю, оксиди хрому,), застосування як каталізаторів фтористих сполук, вибору оптимального гранулометричної сполуки пального ( застосування як горючого матеріалу відходу дробеметного очищення алюмінієвих виробів, у яким присутні великі частки алюмінію) і використання як пального вуглецевомістких матеріалів;

2) підвищення вогнетривності екзотермічної суміші. Підвищення вогні упорності досягалося шляхом уведення в термітну складову суміші вогнетривких наповнювачів;

3) поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці. Здійснювалося шляхом заміни різних органічних матеріалів різного призначення на неорганічні, що спричиняло зменшення виділень токсичних газоподібних продуктів горіння;

4) підвищення теплоізолюючої здатності екзотермічної суміші.

Досягається використанням матеріалів з високою теплоізолюючої здатністю.

Щодо закордонних патентів і публікацій по сполуках екзотермічних сумішей можна відзначити, що вдосконалення велося по:

1) вишукуванню нових матеріалів для екзотермічних сумішей з метою поліпшення теплофізичних властивостей;

2) широкому використанню в екзотермічних сумішах відходів різних виробництв, у тому числі з метою зниження вартості екзотермічної суміші;

3) зниженню щільності екзотермічної суміші й, відповідно, зниженню маси екзотермічних виробів.

У вітчизняних і закордонних джерелах практично відсутня інформація про спроби кардинально змінити сам технологічний процес виготовлення виробів з екзотермічних сумішей. Як було сказано вище, в основі процесу виготовлення виробів з екзотермічних сумішей лежить теплове сушіння для додання міцності

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

екзотермічним оболонкам. Скорочення циклу виготовлення оболонок і відмова від теплового сушіння дозволять підвищити продуктивність технологічного процесу виготовлення екзотермічних оболонок і, як наслідок, знизити собівартість готового литва. Таким чином, розробка екзотермічних сумішей, зміцнених без застосування теплового сушіння теплофізичні властивості, що й мають необхідні, актуальна й дозволить спростити технологічний процес одержання готових оболонок.

Роль основних компонентів у сполуках екзотермічних сумішей і їх вплив на властивості сумішей і роботу надливу.

Кожна з п'яти перерахованих вище груп компонентів відіграє певну роль у доданні сумішам тих або інших властивостей. Кількісне співвідношення компонентів у суміші, їх якість і ступінь здрібнювання визначають властивості екзотермічної композиції.

Властивості екзотермічних сумішей підрозділяються на технологічні, зміцнені й теплофізичні.

До технологічних відносять властивості, загальні для всіх формувальних сумішей: вологість, газопроникність, гігроскопічність, живучість, нетоксичність. До властивостям ставиться міцність суміші в різних станах.

Під теплофізичними властивостями екзотермічних сумішей розуміють властивості, що характеризують процес горіння й зміни тепломісткості.

Для екзотермічних сумішей доцільно визначати наступні показники: температуру запалення  $t_0$ , максимальну температуру горіння  $T_{max}$ , швидкість горіння -  $U_{гор}$ . Вони найпоширеніші для оцінки якості екзотермічних сумішей.

Температура запалення визначається температурою заливання металу й розміром надливу. Наявні літературні дані по температурах запалення конкретних екзотермічних сумішей для різних сплавів обмежені.

Дані по швидкості горіння для багатьох екзотермічних композицій відсутні.

Велика різноманітність горючих матеріалів використовуваних в екзотермічних сумішах вимагає обґрунтованого вибору для того, щоб застосування певного горючого матеріалу виявилось найбільше доцільно й ефективно.

Порівняння теплоти згорання різних компонентів говорить про те, що найбільш доцільним і ефективним з погляду кількості тепла, виділюваного при окисненні, і його умовної вартості, є застосування алюмінієвого порошку як горючого матеріалу, як найбільш дешевого з розглянутих. Термохімічні й економічні характеристики різних термічних композицій наведено в таблицях 3 і 4. У дужках зазначене співвідношення «пальне/окиснювач» (мас. %).

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Таблиця 3 — Теплота згоряння (кал/г) терміту при стехіометричному співвідношенні компонентів

Найменування горючого елемента	Окиснювач		
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	MnO <sub>2</sub>
Алюміній	930000 (25/75)	850000 (24/76)	1120000(29/71)
Кремній	580000 (21/79)	500000(19/81)	700000(24/76)
Кальцій	930000(43/57)	870000 (41/59)	1100000(48/52)
Магній	1050000(32/68)	940000 (29/71)	1180000(36/64)

Таблиця 4 — Ефективність застосування різних компонентів, що окисняться, у термітах з Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> у якості окиснювача

Найменування горючого елемента	Сполука терміту, %		Теплота згоряння 1 кілограма терміту,
	Пальне	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
Алюміній	23,70	76,30	879000
Кремній	19,51	80,49	509000
Кальцій	39,30	56,70	835000
Магній	29,59	70,41	889000

З порівняльних характеристик видно, що алюміній при згорянні виділяє найбільша кількість тепла при найменшому масовому змісті в терміті при найменшій умовній вартості одиниці тепла.

Поряд з наведеними гідностями алюмінію слід указати на такі недоліки кремнію й магнію, як здатність кремнію розчинятися в залозі перш, ніж встигнути згоріти, а також самозаймистість і відносно низьку температуру кипіння (~910 °С) у магнію. Внаслідок цього область застосування цих матеріалів як горючих компонентів значно обмежується родом сплавів, з яких виготовляються вилівки. Крім того газоподібний оксид, що утворюється в результаті горіння, магнію (MgO) впливає на умови праці.

Аналізуючи вплив кількості алюмінієвого порошку на теплофізичні властивості екзотермічних сумішей можна сказати, що воно впливає головним чином на температуру горіння T<sub>max</sub>. Зі збільшенням його змісту температура горіння зростає, і це зрозуміло, *оскільки зі збільшенням кількості пального в*

*РНУ.РМ.156.24.544с-03.01.ПЛОЗЕС*

								Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				

суміші підвищується кількість тепла, виділюване при горінні в питомому об'ємі суміші.

Який-небудь істотний вплив кількості алюмінієвого порошку при зміні його в інтервалі 18...25 масових частин на температуру запалення екзотермічної суміші за даними автора [52] не відзначалося. Однак за іншим даними в більш широкому інтервалі (5...40 масових частин) підвищення кількості алюмінієвого порошку викликає значне зниження температури запалення суміші.

Певне значення має гранулометрія алюмінієвого порошку, для попередньої оцінки цього фактора визначалися властивості однакових по сполуці сумішей з порошками різної фракційної сполуки. У таблиці 5 наведені гранулометрична характеристика досліджених порошків, отримані експериментально властивості екзотермічних сумішей.

Таблиця 5 - Вплив гранулометрії алюмінієвого порошку на властивості суміші

Номер	Залишок на ситах, %			Температура, °С	Температура, °С
	0,25	0,15	0,105		
№1	25	30	8	800...900	1380
№2	5	26	30	880...910	1400
№3	9	80	4	740...760	1420
№4	45	8	35	880...910	1500

Найкращі результати по досягненню максимальної величини температури горіння отримані із застосуванням порошку №4 фракційна сполука, що має найбільш розосереджений. Чим більш концентрована фракційна сполука ( тобто більша частина зерен порошку має приблизно однаковий розмір часток) має алюмінієвий порошок (№1), тем нижче температура горіння  $t_{max}$ , хоча питома поверхня порошків відрізняється незначно. Очевидно, для нормального протікання процесу необхідна наявність у порошку певного кількості крупних зерен, що відіграють роль вогнищ горіння більш тривалої дії. Дрібні частки горять активніше, але згорають швидше, не забезпечуючи підвищення максимальної температури горіння суміші до необхідного рівня. Саме із цих міркувань у ряді випадків для підвищення  $t_{max}$  у суміш поряд з алюмінієвим порошком вводять алюмінієву крупку, алюмінієву або силуміновою стружку, алюмінієвий відхід дробеметного очищення алюмінієвих виробів і ін.

Таким чином, часткова або повна заміна в складі екзотермічної суміші алюмінієвого порошку силуміновою стружкою, алюмінієвим відходом дробеметного очищення алюмінієвих виробів і іншими алюмінієвими

*КНУ РМ 136 24 544с-03 01 ПОЗЕС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріалами мали на меті зниження вартості екзотермічної композиції й створення оптимального режиму горіння.

Щодо впливу розміру часток алюмінію на температуру запалення то потрібно помітити, що зі зменшенням розміру часток алюмінію температура запалення знижується в силу того, що дрібні частки горять активніше й спостерігається більш ранній початок протікання екзотермічної реакції. Однак вплив розміру часток алюмінієвого порошку в інтервалі 0,05...1 мм на температуру запалення суміші досить незначно.

Оптимальний зміст алюмінієвого порошку в інтервалі 18...25 масових частин. Однак, відомий ряд сполук екзотермічних сумішей, у яких зміст алюмінієвого порошку становить 10...15 масових частин. При цьому, при зміні алюмінієвого порошку менш 15 масових частин ефективність застосування екзотермічному прибутку знижується, тому що екзотермічний процес іде з більш низьким тепловиділенням. Враховуючи суперечливість даних по оптимальному змісту алюмінієвого порошку, виникає необхідність його експериментального визначення й порівняння отриманих результатів з, що були раніше. Підвищення змісту алюмінієвого порошку понад 30 масові частини значно підвищує вартість екзотермічної суміші й недоцільно в тому розумінні, що необхідних теплофізичних характеристик можна добитися, не перевищуючи змісту алюмінієвого порошку вище цього значення. Таким чином, враховуючи наявні дані по оптимальному змісту алюмінієвого порошку в екзотермічній суміші, його слід шукати в межах 10...30 масових частин.

По наведених у таблиці 6 результатах роботи видно, що кількість гематитової залізної руди впливає взагалі на температуру горіння  $t_{max}$ , що повністю впливає з характеру взаємодії  $Fe_2O_3$  з алюмінієм. У цих досвідах виміряти швидкість горіння вдавалося для сумішей з досить високою температурою горіння  $t_{max}$ . Це доводить, що з інших властивостей сумішей  $t_{max}$  найбільше тісно пов'язана з параметрами горіння (швидкістю, рівномірністю й ін.).

Таблиця 6 — Вплив гематитової залізної руди на властивості суміші

Вміст гематиту (руди), мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °C	Температура горіння, $t_{max}$ , °C	Швидкість горіння, $V_{гор}$ , мм/хв
0	860...900	1390	-
1	880...900	1535	10,3
3	880...910	1530	-
5	830...850	1585	16,7

КНУ ІМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дані роботи [9] свідчать про те, що збільшення змісту залізної руди в екзотермічній суміші веде до одночасного збільшення температури горіння  $t_{\max}$  і швидкості горіння  $U_{\text{гор}}$ , при цьому знижується температура запалення. Відзначається, що підвищення кількості оксидів заліза веде до зниження температури запалення, однак цей вплив не є значним. При цьому підвищення кількості оксидів заліза в суміші інтенсифікує процес, але не веде до істотного підвищення температури горіння без підвищення кількості алюмінієвого порошку в суміші. Також при порівнянні впливу гематитової (основа -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) і магнетитової (основа -  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) руд на теплофізичні властивості не виявлене якої або істотної різниці.

Застосування як окиснювач окалини виявляє схоже із залізною рудою вплив на теплофізичні властивості суміші (таблиці 7, 8).

Таблиця 7- Вплив прокатної окалини на властивості суміші

Вміст прокатної окалини, мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °C	Температура горіння, $t_{\max}$ , °C
0	940...960	1510
6	840...860	1550
10	770...790	1550

Таблиця 8 - Вплив ковальської окалини на властивості суміші

Вміст ковальської окалини, мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °C	Температура горіння, $t_{\max}$ , °C
0	940...960	1510
6	880...910	1550
10	830...910	1555

Незважаючи на розбіжності в поглядах по впливу на теплофізичні властивості екзотермічної суміші матеріалів на основі оксидів заліза, ці матеріали є найбільше часто застосовуваними в якості окиснювачів у зв'язку з їхньою дешевиною й не дефіцитністю.

Очевидно, окалина й різні залізні руди взаємозамінні.

По даним [12] уведення в суміш і подальше збільшення вмісту селітри як калієвої (таблиця 9), так і натрієвої (таблиця 10) у всіх випадках знижує  $t_{\max}$ , мабуть, у зв'язку з більшим ендотермічним ефектом розкладання й розплавлення її при нагріванні.

Таблиця 9 — Вплив калієвої селітри на властивості суміші

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС

Вміст калієвої селітри (реактив), мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °C	Температура горіння, $t_{max}$ , °C
0	680...700	1565
1	870...850	1555
3	830...850	1450
5	870...890	1420

Таблиця 10 — Вплив натрієвої селітри на властивості суміші

Вміст натрієвої селітри (реактив), мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °C	Температура Горіння, $t_{max}$ , °C	Швидкість горіння, $V_{гор}$ , мм/хв
0	680...700	1565	18,6
1	740...760	1570	15,3
3	630...650	1440	-
5	530...550	1380	-

Зміст великої кількості селітри в екзотермічній суміші небажане через її високу гігроскопічність. Повне виключення селітри не позначається на погіршенні теплофізичних властивостей, але приводить до занадто активного горіння з яскравим виділенням диму й піроефектом. Однак, незрозуміло, що в цьому випадку мається на увазі під активністю горіння, оскільки відсутні які-небудь дані по швидкості протікання процесу горіння.

У роботі [9] є дані, які суперечать наведеним вище. Автор затверджує, що збільшення змісту калієвої селітри (як і залізної руди) в екзотермічній суміші веде до одночасного збільшення температури горіння  $t_{max}$  і швидкості горіння  $V_{гор}$ , при цьому знижується температура запалення  $t_0$ . Отже, деякий зміст у суміші калієвої селітри забезпечує більш стабільне й спокійне горіння без істотного негативного впливу на теплофізичні властивості ( $t_0$ ,  $t_{max}$ ,  $V_{гор}$ ). Опираючись на різні літературні дані можна сказати, що оптимальний зміст селітри слід шукати в інтервалі 0...10 мас. ч.

У більшості літературних джерел по сполуках екзотермічних сумішей згадуються компоненти, які називають каталізаторами і які сприяють більш ранньому початку екзотермічної реакції. Як правило, вони являють собою різні фтористи сполуки.

Аналіз даних [4, 6, 9] показав, що застосування як каталізатори таких речовин як кріоліт ( $3NaF_3$ ) і фториди лужних металів ( $NaF$ ,  $CaF_2$ ) значною мірою впливає на температуру запалення суміші. Фториди лужних металів можна вважати регуляторами температури запалення, найбільше яскраво це виражене в  $NaF$ , при

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використанні якого температура горіння перебуває в оптимальних межах при зміні 3...5 мас. ч.

Відмінність у поведінці кріоліту (таблиця 11) і NaF (таблиця 12) пояснює тим, що при температурах 565...610 °С и 650...850 °С кріоліт перетерплює фазові перетворення зі значним ендотермічним ефектом, тоді як NaF до початку плавлення (980...1070°С) не змінює своєї фазової структури.

Таблиця 11 — Вплив кріоліту на властивості суміші

Вміст кріоліту, мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °С	Температура горіння, $t_{max}$ , °С
0	Суміш не запалюється	Суміш не запалюється
3	740...770	1550
5	930...950	1515
7	750...770	1460

Таблиця 12 - Вплив NaF на властивості суміші

Вміст NaF, мас. ч.	Температура запалення, $t_0$ , °С	Температура горіння, $t_{max}$ , °С
0	Суміш не запалюється	Суміш не запалюється
3	830...850	1400
5	650...670	1510
7	530...550	1400

Таким чином, усі літературні джерела відзначають, що присутність в екзотермічних сумішах фтористих сполук дозволяє регулювати температуру запалення. При цьому збільшення їх змісту знижує температуру запалення.

Більшість літературних джерел рекомендує оптимальний зміст кріоліту, що перебуває в межах 0...8 масових частин. Збільшення змісту фтористих сполук не приводить до істотної зміни теплофізичних властивостей екзотермічної суміші.

Вплив вогнетривких наповнювачів і сполучних на властивості екзотермічних сумішей неоднозначно.

Вогнетривкі наповнювачі впливають на такі властивості як теплопровідність, теплоємність, щільність і, відповідно, на теплоаккумулюючу

*КНУ РМ 136.24.544с-03.01 ПОЗЕС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здатність і масу виробів з екзотермічних сумішей. Зниження теплоакумулюючої здатності екзотермічної суміші веде до збільшення тривалості затвердіння металу в прибутку. Певний вплив на протікання процесу горіння виявляє газопроникність суміші, а, отже, і гранулометрія наповнювача. Природа вогнетривкого наповнювача може впливати на міцність виробів з екзотермічних сумішей. Це пояснюється тим, що адгезія того самого сполучного для різних наповнювачів різна. У більшості випадків як вогнетривкого наповнювача застосовуються кварцовий пісок і шамотний порошок. Відомі екзотермічні суміші, де роль вогнетривких матеріалів відіграють хроміт і діатоміт. Очевидно, хроміт відіграє в цьому випадку подвійну роль, тобто є одночасно окиснювачем і наповнювачем. Застосування в екзотермічних сумішах таких теплоізолюючих матеріалів з низькою щільністю, як спучений перліт, вермикуліт і керамзит веде до підвищення теплоізолюючих властивостей екзотермічних сумішей. У більшості екзотермічних сумішей кількість наповнювача строго не нормується й може змінюватися в широких інтервалах залежно від змісту інших компонентів суміші.

У таблиці 13 наведені деякі властивості різних вогнетривких наповнювачів. Керамзит як теплоізолюючий матеріал найбільше часто застосовується в будівництві, має низьку щільність і є широко розповсюдженим. Незручністю при його використанні може бути те, що в цей час найпоширенішим є керамзит з розміром часток 10...30 мм, у зв'язку із цим необхідний додатковий розмел до розміру часток 0...5 мм.

Таблиця 13 — Властивості деяких вогнетривких наповнювачів

Найменування	Властивості		
	Об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	Теплопровідність, Вт/(м <sup>0</sup> С)	Температура плавлення, °С
Кварцовий пісок	2650	0,5...0,8	1713
Шамотний порошок	2300	0,4...0,7	1900
Керамзит	250...400	0,12...0,16	1250...1300
Перлітовий пісок	75...200	0,04...0,05	1300

Особливої уваги вивченню впливу різних сполучних матеріалів на властивості екзотермічних сумішей не приділялося. Вибір сполучного матеріалу і його кількості, насамперед, визначає міцність екзотермічних сумішей.

Сполучні матеріали можуть також впливати на процес горіння екзотермічних сумішей.

Органічні сполучні матеріали (декстрин, синтетичні смоли й ін.) під час горіння віддаляються, утворюючи додаткову кількість пор, і тим самим сприяє залученню кисню повітря в суміш, що створює сприятливі умови для окиснення алюмінію. Також при горінні органічні сполучні можуть виділяти деяка додаткова кількість тепла, підвищуючи при цьому температуру горіння суміші.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

По даним суміші утримуючі в якості сполучного матеріалу рідке скло мають трохи знижені значення максимальної температури горіння. Це пояснюється, очевидно, тим, що під час спалювання зразка екзотермічної суміші з рідким склом воно розплавляється й обволікає частки відновлювача й окиснювача, у зв'язку із чим, відбувається вповільнення реакції окиснення алюмінію. Разом з тим екзотермічні суміші з рідким склом мають високу міцність і термостійкість.

Попередній аналіз сполук переважної більшості екзотермічних композицій і технології виготовлення виробів з екзотермічних сумішей, показав, що для додання певного рівня міцності виробам потрібна теплове сушіння (150...200 °С). Разом з тим, у цей час у ливарному виробництві застосовуються технології виготовлення форм і стрижнів, як правило, що не передбачають теплове сушіння з використанням сполучних композицій холодного зміцнення. Безсумнівні переваги сполучних композицій холодного зміцнення створюють можливості використання їх для розробки ХТЕС.

Враховуючи різноманіття таких сполучних матеріалів, при розробці сполук ХТЕС необхідно вибирати найбільше екологічні, дешеві, недефіцитні сполучні, які надають сумішам високі зміцнені характеристики при відносно низькому їхньому змісті в суміші, що й не виявляють негативного впливу на теплофізичні властивості.

У цей час відомі й застосовуються для виготовлення форм і стрижнів холоднотвердіючі рідкоскляні суміші з рідкими зміцнювачами сложноефірного типу, а також холоднотвердіючі смоляні суміші на основі малотоксичних лужних фенолформальдегідних смол застосовуваних при Alpha-Set-Процесі. Переваги технології виготовлення форм і стрижнів із цих сумішей наступні:

- 1) високі зміцнюючі характеристики;
- 2) можливість регулювання живучості сумішей у широкому інтервалі часу залежно від умов виготовлення форми або стрижня;
- 3) досить швидке зміцнення виробів без застосування теплового сушіння;
- 4) сприятливі санітарно-гігієнічні умови праці на стрижневі

(формувальних) і заливальних ділянках.

Підводячи підсумок аналізу літератури по впливу компонентів на властивості екзотермічної суміші, можна виділити наступні основні складові ХТЕС, які найбільше доцільно застосовувати в націй роботі, а також визначити інтервали пошуку оптимального змісту компонентів:

1) Пальне (окиснюваний компонент) - алюмінієвий порошок. Інтервал пошуку оптимального змісту алюмінієвого порошку становить 10...30% мас.

2) Окиснювач - залізна руда (залізна окалина). Інтервал пошуку оптимального змісту залізної руди становить 6.. .20 % мас.

3) Комплексний окиснювач - калієва селітра ( $\text{KN0}_3$ ). Інтервал пошуку

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



оптимального змісту калієвої селітри становить 0...10% мас.

4) Каталізатор - кріоліт ( $\text{Na}_3\text{F}_6$ ). Інтервал пошуку оптимального змісту кріоліту становить 0.. .8 % мас.

5) У якості сполучних композицій доцільно використовувати як неорганічні (рідкоскляні), так і органічні сполучні - малотоксичні лужні фенолформальдегідні смоли, у якості затверджувачів яких застосовуються рідкі сложноефірні реагенти.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.01.ПОЗЕС*

## 2. Методика дослідження

Як було зазначено вище, властивості екзотермічних сумішей підрозділяються на технологічні, міцнісні та теплофізичні.

Найважливішими технологічними властивостями холоднотверднучих сумішей є живучість, гігроскопічність, плинність. Міцнісні властивості характеризуються міцністю на стиск або на розрив.

Методики визначення цих властивостей для звичайних холоднотверднучих формувальних і стрижневих сумішей відомі й докладно описані [23, 34]. Ці методики цілком підходять для визначення цих самих властивостей для холоднотверднучих екзотермічних сумішей. Для ХТЕС найдоцільніше визначати міцність і живучість.

Щодо теплофізичних властивостей можна зазначити, що в літературних джерелах немає інформації щодо стандартних методів їхнього визначення, але, тим не менш, є певний науково-виробничий досвід [16, 19, 22], який дає змогу визначати деякі теплофізичні властивості екзотермічних сумішей. На основі цих матеріалів велось розроблення методики визначення теплофізичних властивостей ХТЕС.

### 2.1 Визначення міцності ХТЕС

Визначення міцності на стиск проводили на стандартних циліндричних зразках діаметром і висотою 50 мм за ГОСТ 23409.7-78. Для визначення міцності на стиск використовували прилад моделі №405 (Wa-dap, Польща) і прилад 04116 (УЗЛО), що забезпечують вимір міцності на стиск із точністю не менше ніж 0,01 МПа з межею величини вимірюваної міцності не менше ніж 5,0 МПа і 3,0 МПа відповідно. Відповідно до Міжнародної системи фізичних одиниць міцність сумішей виражають у мегапаскалях (МПа). При вираженні міцності в кгс/см<sup>2</sup> перехід до МПа здійснюється перерахунком: 1 МПа = 10 кгс/см<sup>2</sup>. Стосовно до холоднотвердіючим сумішам, що твердіють, визначають міцність через 1 і 24 години затвердіння за нормальних умов (температура повітря близько 20±1 °С, відносна вологість повітря не більше 70%). Крім того, визначали міцності екзотермічних сумішей за знижених (8...15 °С) і підвищених температур (понад 20 °С).

Для отримання кривої міцності, що характеризує кінетику холодного затвердіння, додатково визначають міцності через 2, 3 або 4 години.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Гобвел Е.Т.</i>			Методика дослідження	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Скідін І.Ф.</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		<i>Скідін І.Ф.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Савельєв С.Г.</i>						
						<b>каф.МЧМЛВ</b> <b>група ЛВ-23-1м</b>		

## 2.2 Визначення живучості ХТЕС

У виробничій практиці [94] допускається органолептичний метод контролю живучості, який полягає у фіксації моменту (за допомогою секундоміра) погіршення сипкості суміші, "пожирніння" поверхні вкладеної сумішевої грудки та відчуття первинного зростання опору при спробі м'якого продавлювання грудки пальцями. Однак цей метод суб'єктивний і не є точним. Також відомий метод визначення живучості, що базується на визначенні міцності зразків через певні проміжки часу, однак цей метод є більш трудомістким, оскільки пов'язаний із виготовленням щонайменше трьох стандартних зразків-"вісімок" через кожні 3, 6, 9, 12 тощо хв, витримкою зразків упродовж 1 години після виготовлення та визначенням міцності за умови розтягування. Цей метод визначення живучості незручний при визначенні порівняно невеликих значень живучості.

Для визначення живучості сумішей використано прилад моделі ПРС. Схему приладу показано на рисунк 2.1.

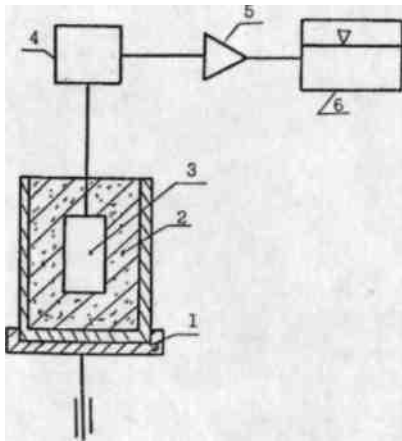


Рисунок 2.1 - Схема приладу моделі ПРС для визначення живучості ХТЕС

Принцип роботи приладу базується на безперервному фіксуванні зміни величини в'язкості та сил тертя, що виникають у початковий період структуроутворення суміші, за допомогою ротора 3, що обертається на валу електродвигуна 4, що обертається на валу ротора 3. Ротор являє собою одну або дві хрестоподібні пластини. Зміна величини в'язкості призводить до зміни швидкості обертання ротора. Чутлива схема ввімкнення електродвигуна дає змогу переводити гальмівний момент, що утворюється під час обертання ротора, в електричні сигнали струму, пропорційні моменту. Сигнали струму фіксують самописним амперметром (або вольтметром) на діаграмній стрічці. Рекомендовані швидкості руху стрічки 600 мм/год (для сумішей із живучістю 10-20 хв) і 1800 мм/год для сумішей із живучістю понад 20 хвилин.

Установку необхідної швидкості руху стрічки проводять за інструкцією. рукції приладу-самописця.

Вимірювання живучості суміші проводять таким чином. Гільзу заповнюють випробовуваною сумішшю 2 (рисунок 2.1) з надлишком, злегка ущільнюють її рукою і встановлюють на столик 1, зафіксувавши положення гільзи гвинтом. Столик із гільзою піднімають до повного занурення в суміш закріпленого на валу двигуна ротора 3. Шар суміші під верхньою частиною ротора має становити 10 - 15 мм. Вмикають рух стрічки самописця 6 і обертання ротора.

Закінчення живучості викликає зупинку ротора або стабільне повільне обертання ротора.

У цей час накреслений на діаграмній стрічці самописця графік переходить у вертикальну лінію під час руху стрічки в приладі. Закінчення живучості фіксується на графіку місцем початку переходу кривої в горизонтальне положення (рисунок 2.3). Прилад ПРС дає змогу визначати живучість різних самотвердіючих сумішей. Для них форми кривих у місцях переходу їх у горизонтальне положення (закінчення живучості) будуть різні.

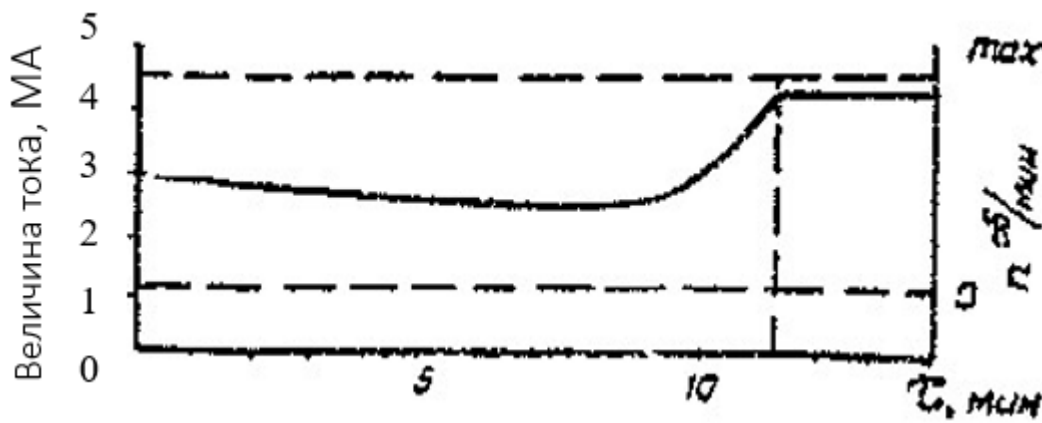


Рисунок 2.3 - Крива живучості ХТЕС знята за допомогою приладу ПРС

Прилад ПРС дає змогу досить точно визначати живучість ХТЕС і не є суб'єктивним і трудомістким. В окремих випадках живучість екзотермічних сумішей визначали візуально з фіксацією часу початку схоплювання суміші.

### 2.3 Аналіз відомих методик щодо визначення теплофізичних властивостей екзотермічних сумішей

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд*

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Під теплофізичними властивостями екзотермічних сумішей мають на увазі властивості, що характеризують процес горіння і зміни тепловмісту.

Теплофізичні властивості екзотермічних сумішей не мають єдиної методики їх визначення, хоча методи дослідження деяких із них схожі. Нижче розглянуто відомі методики визначення цих властивостей.

Для екзотермічних сумішей найдоцільніше визначати такі показники: температуру займання  $t_0$ , максимальну температуру горіння  $t_{\max}$ , швидкість горіння  $i_{\text{гор}}$ . Вони найбільш поширені для оцінки якості екзотермічних сумішей. Однак у деяких відомих дослідницьких роботах [46, 52, 62] за екзотермічними сумішами визначали й інші властивості.

Так, у роботах [46, 52, 62] визначають різні властивості та параметри, що характеризують ефективність застосування екзотермічної суміші. До них належать теплотворна здатність екзотермічної суміші, коефіцієнт ефективності екзотермічної суміші, ефективність застосування екзотермічної суміші. Теплотворна здатність екзотермічної суміші, що визначається в роботі [52], значною мірою характеризується температурою горіння  $t_{\max}$  і швидкістю горіння суміші  $V_{\text{гор}}$ . Визначивши ці властивості можна скласти уявлення про теплотворну здатність екзотермічної суміші. Згідно з методикою для визначення теплотворної здатності необхідна наявність адіабатного калориметра, що не завжди можливо.

Коефіцієнт ефективності екзотермічної суміші визначають у разі одночасної заливки кульових проб, одна з яких облицьована екзотермічною Асумішшю, а інша - піщаною сумішшю. Коефіцієнт ефективності екзотермічної суміші дорівнює відношенню тривалості затвердіння кулі, облицьованої екзотермічною сумішшю, до тривалості затвердіння кулі у формі з піщаної суміші (рисунок 2.4).

У роботі [9] визначення ефективності застосування екзотермічних сумішей проводили на циліндричних виливках. Виливки мали відкриті надливи, при цьому одна з надливів була облицьована досліджуваною екзотермічною сумішшю, інша не мала облицювання. Після заливки форми надлив засипали теплоізоляційною сумішшю для зменшення теплових втрат. Ефективність екзотермічної суміші оцінюють за величиною зменшення розміру прибутку порівняно з розміром необігріваного надливу, характером розташування усадкової раковини та величиною запасу щільного металу в надливу виливка (рисунок 2.5).

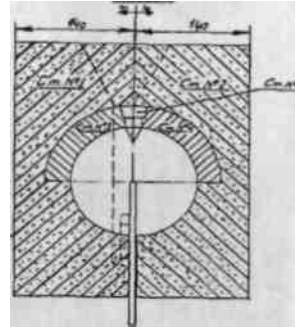
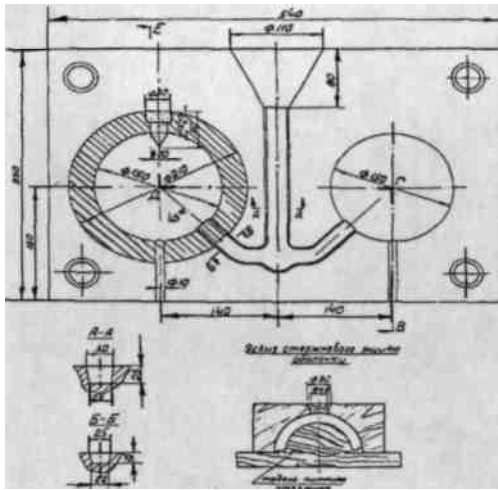


Рисунок 2.4 - Схема ливарної форми для визначення коефіцієнта ефективності екзотермічної суміші

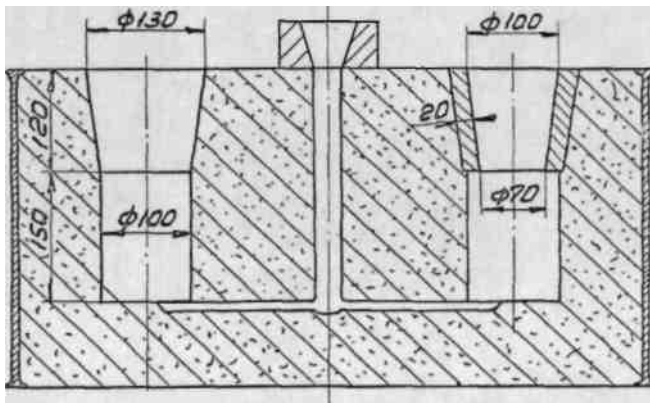


Рисунок 2.5 - Схема ливарної форми для визначення ефективності застосування екзотермічної суміші

Коефіцієнт ефективності та ефективність застосування екзотермічних сумішей є комплексними характеристиками, що залежать від температури займання  $t_0$ , температури горіння  $t_{max}$ , швидкості горіння  $v_{гор}$ , наприклад, низька температура займання суміші для прибутків відносно невеликих розмірів гарантує мінімальну кількість тепла, що відбирається від металу надливу для збудження екзотермічної реакції.

Водночас для прибутків великих розмірів, для яких у початковий момент після заливки металу охолоджувальний ефект суміші не має суттєвого значення, температура займання має бути вищою, ніж для прибутків невеликих розмірів, оскільки в цьому разі пізніший початок перебігу екзотермічної реакції підвищить тривалість затвердіння металу в надливу та разом із тим ефективність роботи екзотермічного надливу.

Максимальна температура горіння і швидкість горіння так само значною мірою визначають ефективність застосування екзотермічних сумішей. Знижена

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

температура горіння призводить до більш раннього початку процесу горіння, твердіння металу в надливу.

Занадто швидке протікання екзотермічної реакції в суміші, особливо під час обігріву великих прибутків, знижує ефективність застосування екзотермічних сумішей, оскільки в цьому разі метал прибутків перебуває в рідкому стані досить довго за рахунок власного тепла, і бажаним є, наскільки це можливо, повільне протікання екзотермічної реакції для збільшення часу затвердіння прибутків. При цьому зменшення швидкості реакцій тягне за собою зниження максимальної температури горіння суміші.

Тому з метою зниження теплових втрат металом надливу температура горіння екзотермічної суміші має бути якомога вищою за мінімально можливою швидкості горіння.

Таким чином, екзотермічні суміші найповніше характеризуються трьома параметрами: температурою займання  $t_0$ , максимальною температурою горіння  $t_{max}$ , швидкістю горіння  $v_{гор}$ . Усі інші характеристики екзотермічних сумішей, що характеризують тепловий режим, багато в чому залежать від цих властивостей.

Методики визначення температури займання  $t_0$  здебільшого схожі, але, тим не менш, мають деякі відмінності.

У роботах [46, 49, 62] для визначення температури займання  $t_0$  і температури горіння  $t_{max}$  використовували установку для спалювання стандартних циліндричних зразків діаметром і висотою 50 мм (рисунок 2.6).

Установка являє собою шахтну піч 1 із нагрівачами 4, футеровану шамотом 3 із засипкою з шамотної крихти 2. На верх печі поміщають сталеву пластину 5, на неї насипають тонкий шар сухого піску 6 і встановлюють зразок 7. При досягненні температури займання суміші на нижній поверхні зразка починається горіння і піч можна відключати. Температуру займання  $t_0$  визначають як показано на рисунок 2.7.

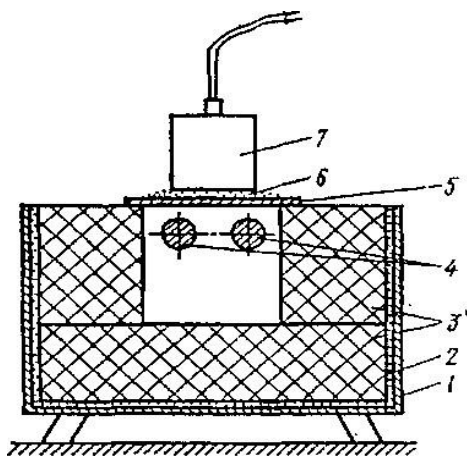


Рисунок 2.6 - Установка для спалювання зразків з екзотермічної суміші

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд	

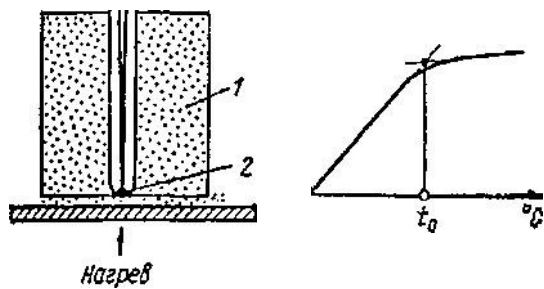


Рисунок 2.7 - Схема визначення температури займання екзотермічної суміші

Під час формування зразка 1 у нього закладають кварцовий ковпачок, а потім встановлюють термопару 2 так, щоб спай був на рівні нижньої поверхні. Очевидно, таке встановлення термопари в зразку зумовлене тим, що фіксування різкого підвищення температури на початку екзотермічної реакції найзручніше в місці початку згоряння зразка, тобто найяскравіше виражений перегин на температурній кривій. Точка перегину на температурній кривій відповідає температурі займання.

#### 2.4 Дослідження температури горіння ( $t_{max}$ ), температури займання ( $t_0$ ) і швидкості горіння $v_{гор}$ екзотермічних сумішей.

Визначення максимальної температури горіння ( $t_{max}$ ), температури займання ( $t_0$ ) і швидкості горіння екзотермічних сумішей проводили на стандартних зразках діаметром і висотою 50 мм, які спалювали в шахтній печі. Зразок із досліджуваної суміші встановлювали на шахтну піч на сталеву пластину (як це показано на рисунку 2.6), попередньо нагріту до температури 1000 °С.

Для зняття температурного режиму в центрі зразка встановлено платино-платинородієву термопару в алундовому наконечнику, як показано на рисунку 2.8. Зміну температури в зразку по ходу його розігріву і подальшого згоряння фіксували. Температура фіксується з точністю  $\pm 1$  °С. Принципова схема установки, що складається з шахтної печі та апаратно-програмного комплексу (рисунок 2.9).

Установка складається з шахтної печі 1, що здійснює нагрівання зразка 2 з досліджуваної суміші з термопарою, блока 3 перетворення аналогового сигналу в цифровий код (БПС) з дисплеєм 4, блока 5 сполучення сигналу (БСС) і персонального комп'ютера 6. Блок 3 перетворення аналогового сигналу в цифровий код (БПС) з дисплеєм 4, блок 5 сполучення сигналу (БСС) і персональний комп'ютер 6.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



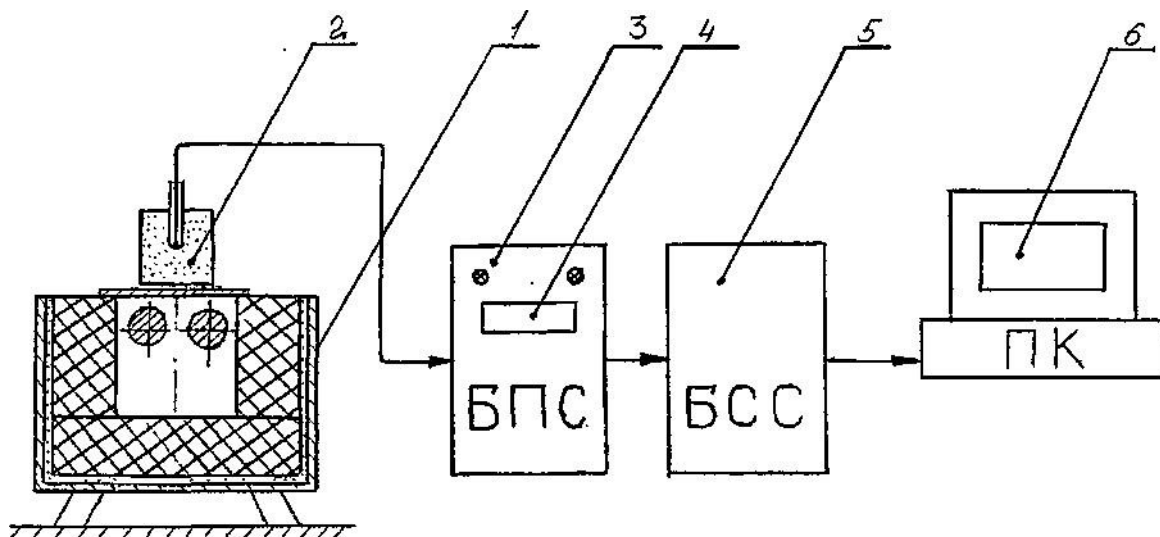
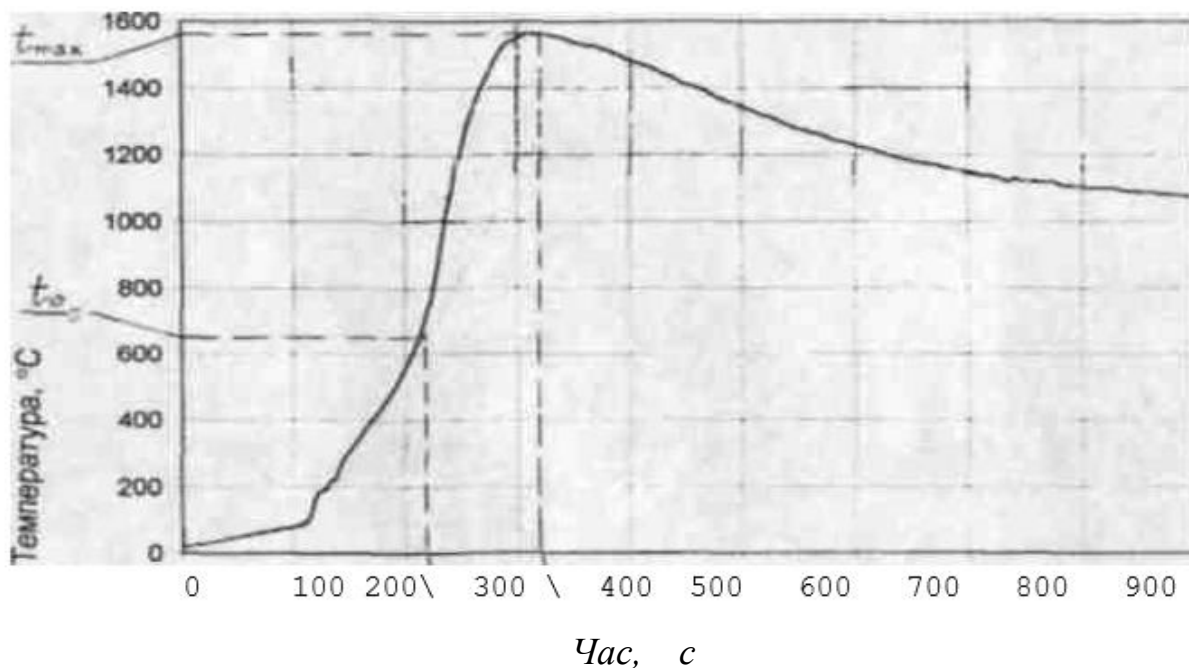


Рисунок 2.9 - Схема установки для визначення температури горіння ( $t_{max}$ ), температури займання ( $t_0$ ) та швидкості горіння ( $v_{гор}$ ) екзотермічних сумішей



За отриманим графіком залежності (рисунок 2.10)  $T(t)$  (температура - час) за допомогою першої похідної  $dT/dx$  можна визначити точку, де температура починає інтенсивно збільшуватися, тобто температуру займання  $t_0$  екзотермічної суміші. Також отримана залежність дозволяє визначити температуру горіння  $t_{max}$  за максимально досягнутим значенням температури.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд

Арк.

Швидкість горіння визначали в такий спосіб. За допомогою термопари фіксують час і температуру початку горіння ( $t_0$ ) у центрі зразка та час, коли досягається максимальне значення температури в процесі горіння ( $t_{max}$ ). Оскільки початок горіння фіксують у центрі зразка (на відстані 25 мм від низу й верху), то кінець горіння (досягнення  $t_{max}$ ) відбувається під час остаточного згоряння зразка. Таким чином, знаючи відстань, пройдену фронтом горіння і час, за який пройдено цю відстань, можна розрахунково визначити швидкість горіння суміші.

На відміну від раніше застосованих методів, ця методика має такі переваги:

1) дає змогу визначити одразу три параметри ( $t_0$ ,  $t_{max}$ ,  $V_{гор}$ ) на відміну від застосованих раніше методик [46, 49, 62], у яких ці величини визначаються різними методами;

2) оскільки результати експерименту записуються в пам'ять ЕОМ, то значно полегшується подальше опрацювання і зберігання результатів експерименту.

## 2.5 Вибір і характеристика матеріалів

Як горючий матеріал (відновник) в екзотермічних сумішах застосовували алюмінієвий порошок вторинний марки АПВ (ТУ 48-5-152-78) із вмістом активного алюмінію не менше ніж 97,1 %.

Як окислювач використовувалася залізна руда (залізна окалина) мелена.

Як додатковий окислювач і регулятор теплофізичних властивостей під час приготування екзотермічних сумішей застосовували селітру калієву технічну марки Б (ГОСТ 19790-74).

Як каталізатор застосовували кріоліт штучний технічний марки КА (ГОСТ 10561-80).

Як наповнювачі використовували кварцовий пісок марки 2К<sub>2</sub> О<sub>2</sub> 02 (ГОСТ 2138-91), шамотний порошок марки ПШБ (ТУ 14-8-90-74), який широко застосовують у металургії та ливарному виробництві, насамперед як вогнетривкий матеріал.

Керамзит як теплоізоляційний матеріал часто застосовується в будівництві, має низьку щільність. Незручністю його застосування є те, що нині його найчастіше постачають із розміром часток 10...30 мм, і для його використання у складах екзотермічних сумішей необхідно розмелювати до розміру часток 0...5 мм.

З нових легковагих матеріалів, які ми застосовували під час розроблення ХТЕС, найбільший інтерес представляє мікросфера алюмосилікатна - продукт високотемпературного випалювання мінеральної частини палива, що утворюється під час спалювання твердих палив (вугілля, сланців).

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.МД</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей матеріал має високу температуру плавлення (1400... 1500 °С), низьку щільність (300... 600 кг/м<sup>3</sup>), хороші теплоізоляційні властивості та низьку вартість.

У таблиці 2.1 наведено хімічний і фракційний склад деяких сипких матеріалів, які застосовувалися в даній роботі під час приготування сумішей.

Таблиця 2.1 - Фракційний і хімічний склад сипучих компонентів екзотермічних сумішей

Найменування компонента (ГОСТ або ТУ)	Хімічний склад, мас. %	Залишок на ситах, масова частка, %			
		1,6-0,63	0,4-0,1	0,063-0,05	<0,05
Алюмінієвий порошок вторинний АПВ (ТУ48-5-152-78)	>97,1%A1	1...2	5...8	60...75	10...20
Залізна руда (залізна окалина)	40...50%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 45...55% FeO	1...5	30...40	25...35	22...27
Селітра калієва технічна марки Б (ГОСТ 19790-74)	> 99,9 %KN0 <sub>3</sub>	0...5	85...90	5...10	0...5
Кріоліт штучний технічний марки КА (ГОСТ 10561-80)	> 97 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub>	0...1	35...45	35...45	18...22
Кварцовий пісок 2К2О202 (ГОСТ)	>96 % SiO <sub>2</sub>	0...3	85...95	3...8	0,3...0,6
Шамотний порошок ПШБ	>30 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >60 % SiO <sub>2</sub>	35...45	45...55	0...3	0...5
Керамзит щебнеподібний мелений (ГОСТ 9757-90)	20...24 %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 55...67 %SiO <sub>2</sub> 1,5...2,5 %CaO 1,5...3,5 %MgO До 6,9 % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,5...3,5 %TiO <sub>2</sub>	2...5	30...40	30...40	23...26
Мікросфера алюмосилікатна (ТУ5712-002-713025063-2007)	50...60 %SiO <sub>2</sub> 25...35 %Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,5...5,0 %Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,1...1,5 %CaO 0,2...2,9 %K <sub>2</sub> O 0,1...1,5 %MgO 0,3...1,5%Na <sub>2</sub> O	0...2	79...92	6...12	2...7

Як згадувалося вище, ми розробляли два види холоднотверднучих екзотермічних сумішей з використанням двох типів сполучних матеріалів - рідкого

скла (неорганічного сполучної речовини) і малотоксичних лужних фенолоформальдегідних смол, які тверднуть рідкими реагентами.

Вибір рідкого скла пояснювався його доступністю, широким розповсюдженням у ливарному виробництві та промисловості, дешевизною, екологічністю, легкістю затвердіння рідкими реагентами і швидкістю її регулювання.

Разом з тим, до недоліків рідкого скла і формувальних сумішей на його основі належать труднощі видалення сумішей з виливків, крихкість сумішей, що супроводжується поломками стрижнів, схильність до утворення металізованого пригару і розтріскування стрижнів.

Усі ці недоліки мають безпосередній стосунок до застосування рідкого скла у складі екзотермічних сумішей.

Тому одночасно розробляли другий варіант ХТЕС на основі органічного сполучного - лужної фенолоформальдегідної смоли, яка вигідно відрізняється від рідинноскляних ХТЕС легкістю видалення з відливок, відсутністю схильності до утворення металізованого пригару, пластичністю, що унеможливорює поломку стрижнів і, відповідно, екзотермічних виробів під час їхнього витягання з оснащення і транспортування. Ці суміші, порівняно з рідинноскляними, мають більш високі міцності за меншого (у 1,5...2,0 раза) вмісту сполучного. На відміну від інших відомих видів синтетичних смол лужні феноло-формальдегідні смоли на порядок менш токсичні. Недоліком лужних фенолоформальдегідних смол порівняно з рідким склом є їхня більш висока вартість. Порівняльну токсичність різних смол наведено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Токсикологічні характеристики різних смол

Сполучна речовина	Вміст вільного формальдегіду, %мас.	Вміст вільного фенолу, % мас.	Вміст азоту, % мас.	Вміст фурфурілового спирту, % мас.
БС-40	до 1,7	0	до 12	38
ФФ-1Ф	до 1,0	до 5-7	0	0
ФСМ-1	до ОД	до 0,2	0	0
ФСМ-А	до 0,1	до 0,1	0	0
ГДК, мг/м <sup>3</sup>	0,5	0,3	-	0,05

Під час розроблення рідкоскляних ХТЕС використовували натрієве рідке скло (ГОСТ 13079-81) з вихідним силікатним модулем  $M = 2,8$  і густиною  $1460 \text{ кг/м}^3$ . Як затверджувачі для рідкого скла застосовували затверджувачі АЦЕГ

(ацетати етиленгліколю) марок 1Б, 2СБ, 3СМ, 4М (ТУ 2332-016-058079772003). Для зниження модуля рідкого скла користувалися їдким натром (гідроокис натрію) ТУ 6-01-1306-85.

Під час розроблення ХТЕС на органічному сполучному застосовували лужну фенолформальдегідну смолу марки ФСМ-А (ТУ 2223-010-557782702001) зі щільністю 1250...1260 кг/м<sup>3</sup>.

Як затверджувачі лужної фенолформальдегідної смоли в цій роботі використовували комплексні складні ефіри, які містять ацетати етиленгліколю (АЦЕГ) і бутирлактон в різних співвідношеннях для регулювання їхньої активності. За ТУ 2332-002-430095432002 використовували 5 марок затверджувача: А-5, Б-10, В-15, Г-25 і Д-35 (100% АЦЕГ), що дають змогу регулювати живучість ХТЕС в інтервалі від 6...7 хв до 30...40 хв.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.02.Мд</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 3. Дослідження і розробка холоднотверднучих екзотермічних складів стосовно виливків із чорних сплавів

### 3.1 Дослідження впливу складу ХТЕС на технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості

Якість ХТЕС з погляду технологічних і фізико-механічних властивостей досить повно характеризується живучістю і кінетикою затвердіння. Компоненти, що входять до складу суміші, є факторами, що визначають технологічні та міцнісні властивості екзотермічної суміші.

Як було сказано вище, як сполучні композиції (сполучна речовина - затверджувач) холодного затвердіння для екзотермічних сумішей було обрано такі:

- 1) рідке скло, затверджуване рідкими затверджувачами складноефірного типу;
- 2) лужна фенолформальдегідна смола, що твердіє комплексними складними ефірами.

Необхідно зазначити, що холоднотвердіючі суміші та технологія їх застосування призначені переважно для умов індивідуального та дрібносерійного виробництва. Широка виробнича практика застосування холоднотверднучих сумішей дає змогу прийняти такі загальні показники для холоднотверднучих екзотермічних сумішей:

- а) живучість сумішей повинна перебувати і змінюватися в інтервалі 10...40 хвилин (за температури 18...25 °С), причому для рідинноскляних ХТЕС живучість повинна знаходитися в межах 10...40 хв, а для сумішей з лужною фенолформальдегідною смолою - в межах 10...20 хв. Такий інтервал живучості є достатнім для набивання суміші в ящики і проведення різних технологічних операцій при виготовленні оболонок різних розмірів;
- б) екзотермічні оболонки повинні витягатися з оснащення при міцності не менше 0,3 МПа;
- в) маніпуляторна міцність (~0,5 МПа) повинна досягатися не більше, ніж через 3 години;
- г) міцність холоднотверднучих екзотермічних сумішей через добу має бути не меншою за 1,5 МПа на стиск.

<b>КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС</b>				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	Підпис	№ докум.	Підпис	Дата
Перевір	Скідін І.Г.			
Реценз				
Н. Коштр	Скідін І.Г.			
Змн. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Затверд	Савельєв С.Г.			
Публікація добової міцності значення 2,5 МПа так само недійсна холоднотверднучих екзотермічних складів стосовно виливків із чорних сплавів				
				Дит Лист Листов каф.МЧМЛВ група ЛВ-23-1м
				Арк.

З погляду теплофізичних властивостей, екзотермічна суміш досить повно характеризується температурою займання, температурою горіння і швидкістю горіння суміші.

Щодо необхідного рівня теплофізичних властивостей можна встановити такі межі, ґрунтуючись на даних з різних літературних джерел і великому виробничому досвіді застосування екзотермічних сумішей.

Температура займання екзотермічної суміші при виробництві чавунних і сталевих виливків значною мірою залежить від наведеної товщини надливу і температури металу, що заливається. Верхні межі цих інтервалів, вочевидь, пов'язані з можливістю прогрівання поверхні екзотермічної оболонки, що контактує з металом, до заданої температури і подальшим перебігом екзотермічної реакції під час виготовлення великих виливків. Нижні межі також визначаються можливістю створення необхідної температури в екзотермічній оболонці при виготовленні відносно невеликих виливків. З огляду на перераховані вище чинники і дані дослідницьких робіт [46, 49, 52] та публікацій [51, 93, 97], можна стверджувати, що температура займання ХТЕС для виливків із чорних сплавів має перебувати в межах 500...850 °С.

Оскільки екзотермічна суміш призначена для збільшення часу затвердіння металу в надливу, то температура горіння екзотермічної суміші не повинна бути меншою за температуру ліквідус, а за можливості перевищувати її на 100... 150 °С. Оскільки сфера застосування сумішей, що розробляються, - чавунне і сталеве литво, то відповідно температура горіння для сталевих литва не повинна бути меншою за 1480 °С, а для чавунного - не меншою за 1250 °С. Щодо верхнього інтервалу, то температура горіння для чавунних виливків не повинна перевищувати 1500 °С, а для сталевих 1700 °С. Тому температура горіння ХТЕС для чорних сплавів повинна перебувати в межах 1250...1700 °С.

Швидкість горіння екзотермічної суміші передусім не повинна бути занадто високою, тобто протікання екзотермічної реакції не повинно мати швидкоплинного характеру. Водночас уповільнене протікання екзотермічної реакції може призвести до більш раннього початку затвердіння металу в надливу, що небажано. Аналізуючи наявні дані можна встановити інтервал зміни швидкості горіння від 6 до 20 мм/хв.

Під час визначення впливу компонентів на технологічні та теплофізичні властивості суміші як основний наповнювач у всіх дослідах в екзотермічних сумішах застосовували кварцовий пісок марки 2КЮ2О2 (ГОСТ 2138-91) як найпоширеніший вогнетривкий наповнювач у ХТЕС.

Таким чином, необхідно встановити оптимальні склади холоднотвердіючих екзотермічних сумішей, що задовольняють сформульований-вищому рівню вимог за технологічними, міцнісними і теплофізичними властивостями.

*КІУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На підставі аналізу літературних даних, зробленого в розділі 1, було визначено інтервали варіювання кількості компонентів суміші (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 -Інтервали варіювання компонентів суміші

Компонент суміші	Інтервал варіювання, мас.
Алюмінієвий порошок	10...30
Залізна руда (залізна окалина)	6...20
Калієва селітра	0...10
Кріоліт	0...8
Кварцовий пісок	32...84

Кількість самотвердіючих сполучних композицій визначали в процесі експериментальних досліджень.

Попередні випробування показали, що живучість ХТЕС на рідкому склі залежить від складу сухої маси суміші набагато сильніше, ніж ХТЕС на смолі. Крім того, на живучість суміші на рідкому склі значний вплив має температура навколишнього середовища. Тому визначення впливу компонентів екзотермічної суміші на технологічні властивості суміші проводили на сумішах із живучістю в інтервалі 20...40 хвилин за температури 15...20±1 °С. Як затверджувач для рідкого скла було обрано складноефірний затверджувач середньої активності марки ЗСМ (ТУ 2332-016-05807977-2003). Модуль рідкого скла під час попереднього відпрацювання суміші був прийнятий рівним 2,2. Інтервал варіювання кількості рідкого скла від 4 до 15 мас. % від сухої маси суміші. Кількість затверджувача становить 10 мас. % від маси сполучного. Таким чином, інтервал варіювання кількості сполучної композиції (рідке скло затверджувач) становить від 4,4 до 16,5 мас. %.

Нижній інтервал варіювання сполучної композиції становить середню кількість, що вводиться в ХТЕС для форм і стрижнів. Верхній інтервал варіювання був обраний виходячи з різних даних щодо застосування рідкого скла як сполучного в екзотермічних сумішах.

Інтервал варіювання кількості лужної фенолформальдегідної смоли від 2 до 8 % мас. від сухої маси суміші. Як затверджувач для фенолформальдегідної смоли був обраний затверджувач марки Б-10 (ТУ 2332002.43009543-2002), що містить ацетати етиленгліколю і - бутирлактон у співвідношенні 1:1. Технологія приготування сумішей за ALPHA-SET процесом визначає кількість затверджувача як 30 мас. % від маси зв'язувального. Таким чином, інтервал варіювання кількості сполучної композиції (смола-затверджувач) становить від 2,6 до 10,4 мас. %.

КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Нижній інтервал варіювання сполучної композиції становить середню її кількість, яку вводять у стрижневі та формувальні суміші. Верхній інтервал був обраний виходячи з різних даних щодо застосування органічних зв'язувальних в екзотермічних сумішах.

### 3.1.1.1 Дослідження впливу компонентів ХТЕС на рідкому склі на живучість

У результаті опрацювання експериментальних даних для живучості ХТЕС на рідкому склі отримано результати що кількість сполучної композиції, мас. % від сухої маси суміші (рисунок 3.1) підвищує живучість суміші на рідкому склі.

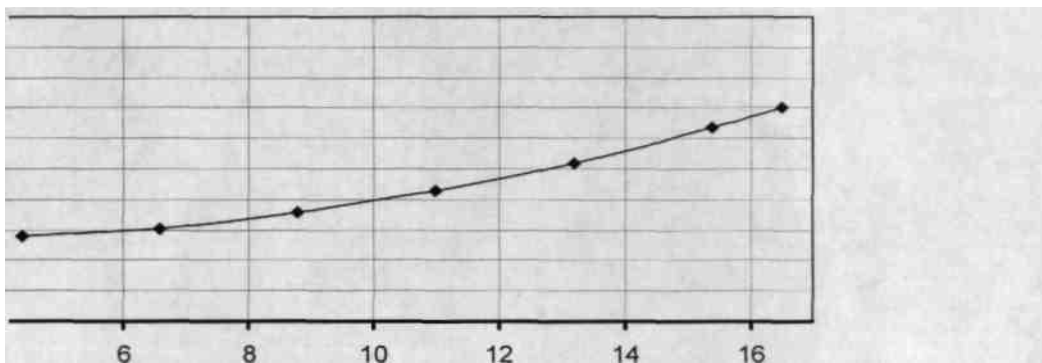


Рисунок 3.1 - Вплив кількості сполучної композиції на живучість ХТЕС на рідкому склі

Очевидно, збільшення вмісту рідкого скла веде до збільшення товщини плівок сполучної речовини, а, отже, і до збільшення часу дифузії затверджувача в мікроб'єми рідкого скла, що веде до збільшення живучості зі збільшенням кількості сполучної композиції.

Вплив алюмінієвого порошку, залізної окалини і калієвої селітри на живучість сумішей на рідкому склі вельми незначний. При цьому можна відзначити, що алюмінієвий порошок дещо підвищує, а потім незначно знижує живучість суміші. Залізна окалина впливає вельми несуттєво, при цьому вона дещо знижує живучість. Очевидно, алюмінієвий порошок і залізна окалина інертні щодо рідкого скла через свою природу, що підтверджується експериментально.

Калієва селітра в інтервалі від 0 до 4 % мас, незначно знижує, а в інтервалі від 4 до 10 % мас, так само незначно підвищує живучість суміші. Кількість калієвої селітри в суміші практично не впливає на живучість.

Кріоліт суттєво знижує живучість суміші в інтервалі від 0 до 8% мас.

Можна припустити, що кріоліт взаємодіє з лутом рідкого скла, дещо підвищуючи модуль рідкого скла, тим самим знижуючи живучість і прискорюючи початок тверднення суміші, однак при цьому не відбувається утворення додаткової

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

кількості структуроутворювальної фази (ортокремнієвої кислоти), оскільки кріоліт не містить кремнію, який бере участь в утворенні додаткової кількості молекул ортокремнієвої кислоти, а отже, не відбувається підвищення міцності.

Зміна кількості кварцового піску в суміші на рідкому склі в широкому інтервалі (від 36 до 70 % мас.) не має значного впливу на живучість суміші.

### 3.1.1.2 Дослідження впливу компонентів ХТЕС на рідкому склі на міцнісні властивості

Калієва селітра і кварций пісок не впливають на міцність ХТЕС на рідкому склі.

Алюмінієвий порошок впливає на міцність через 24 години, знижуючи її. У перші години твердіння (через 2 і 3 години) вплив на міцність незначний (рисунок 3.3).

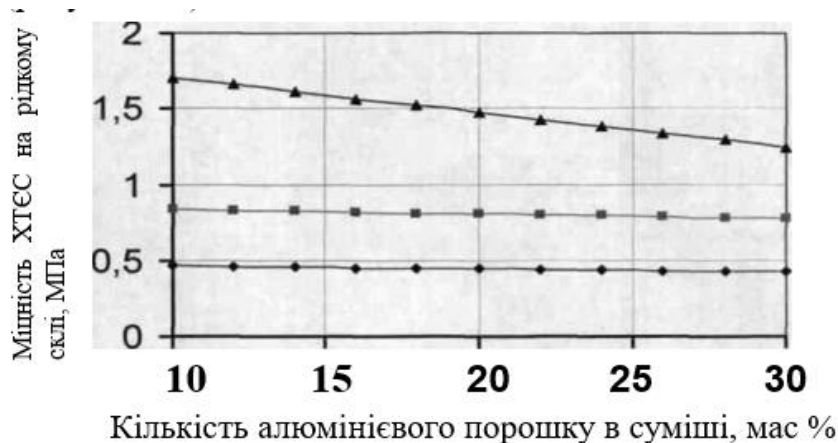
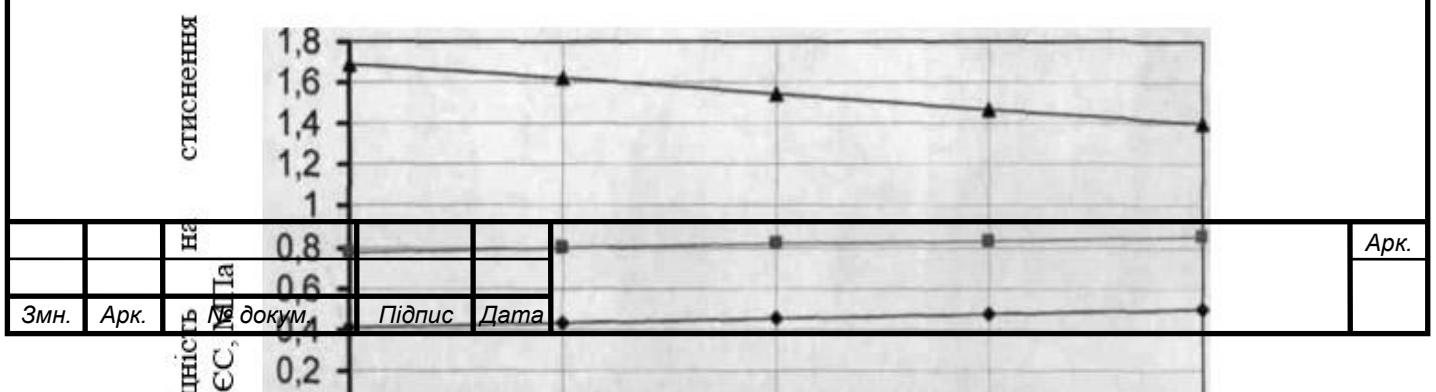


Рисунок 3.3 - Вплив кількості алюмінієвого порошку на міцнісні властивості ХТЕС на рідкому склі, -◆-через 2 години, -■- через 3 години, -▲-через 24 години

Залізна окалина, так само як і алюмінієвий порошок, знижує міцність через 24 години. Міцності через 2 і 3 години не змінюються (рисунок 3.4).

Кріоліт, вступаючи у взаємодію з рідким склом, прискорює твердіння і скорочує живучість (рисунок 3.4), тому підвищення його кількості в суміші веде до зростання міцності в початковий період, проте через 24 години показники міцності зі збільшенням вмісту кріоліту знижуються через підвищення швидкості твердіння (рисунок 3.5).

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
------	------	----------	--------	------	------

Рисунок 3.4 - Вплив кількості кріоліту на міцнісні властивості ХТЕС на рідкому склі, -◆-через 2 години, -■- через 3 години, -▲-через 24 години

Найбільший вплив на міцність чинить кількість сполучної композиції (рисунок 3.6) і час тверднення, що відповідає уявленням про міцнісні характеристики холоднотверднучих сумішей, які застосовують для виготовлення стрижнів і форм.

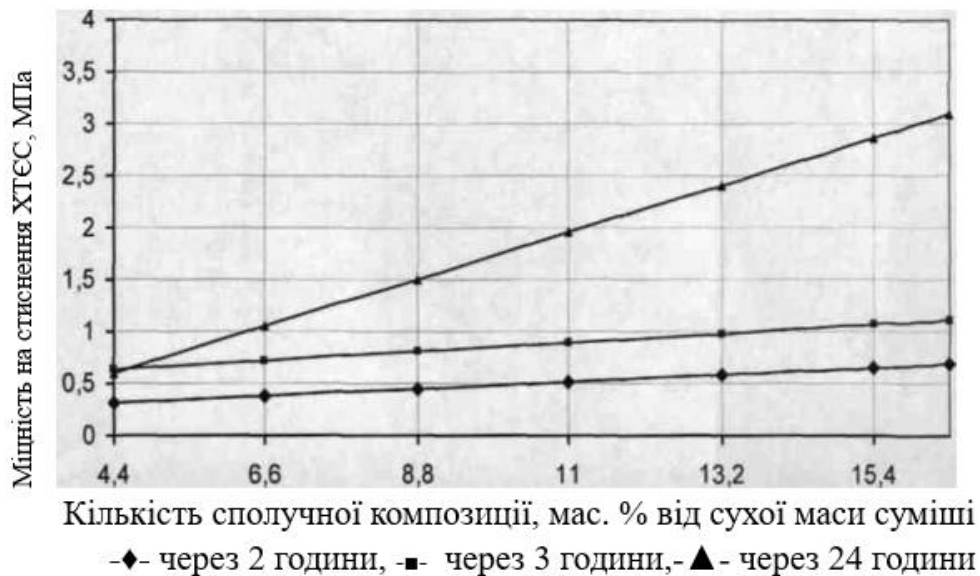


Рисунок 3.6 - Вплив кількості сполучної композиції на міцнісні властивості ХТЕС на рідкому склі

Таким чином, сухі компоненти (алюмінієвий порошок, залізна окалина, кріоліт) незначною мірою впливають на міцність у початковий період часу й істотно знижують показники міцності через 24 години.

Основний вплив на міцність чинить кількість сполучної композиції і час твердіння ХТЕС.

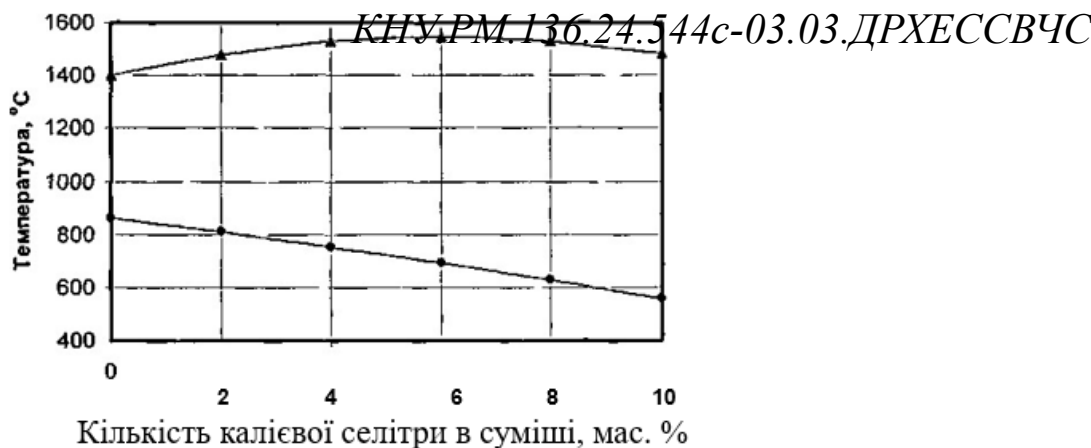
### 3.1.1.3 Вплив компонентів рідкоскляних ХТЕС на теплофізичні властивості

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Збільшення вмісту алюмінієвого порошку підвищує температуру горіння і знижує температуру займання суміші. Це є наслідком того, що алюмінієвий порошок - горючий (окислювальний) компонент - його збільшення веде до збільшення кількості тепла і підвищення температури займання і, водночас, більш раннього початку протікання екзотермічної реакції, тобто зниження температури займання суміші. У зв'язку з цим відбувається і збільшення швидкості горіння суміші.

Збільшення кількості залізної руди підвищує температуру горіння і знижує температуру займання ХТЕС на рідкому склі, проте це відбувається не так інтенсивно, як у випадку з алюмінієвим порошком, оскільки залізна руда є окислювачем, і збільшення вмісту її в суміші сприяє повнішому окисленню алюмінію, більш ранньому початку протікання реакції, а також і більш швидкому перебігу реакції, тобто призводить до підвищення швидкості горіння ХТЕС.

Збільшення кількості калієвої селітри (до 6 % мас.) підвищує температуру горіння і різко знижує температуру займання ХТЕС на рідкому склі (рисунок 3.11), при цьому слід зазначити, що підвищення температури горіння дуже близько за числовими значеннями до залізної окалинки, а зниження температури займання спостерігається ще більш активно, ніж у випадку з алюмінієвим порошком. Оскільки калієва селітра є сполукою, що легко віддає кисень під час нагрівання, то збільшення селітри в суміші сприяє більш ранньому початку протікання реакції, а також веде до підвищення швидкості горіння ХТЕС (рисунок 3.12).



			◆ - Температура займання,	▲ - Температура горіння	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Рисунок 3.11 - Вплив кількості калієвої селітри на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на рідкому склі

Підвищення вмісту кріоліту незначно підвищує температуру горіння за малих кількостей кріоліту і різко знижує температуру займання суміші. Оскільки кріоліт є фтористою сполукою, він підвищує активність композиції, що виражається в значному зменшенні температури займання та підвищенні швидкості горіння. Це підтверджується даними з різних літературних джерел. Незначне підвищення температури горіння пояснюється тим, що кріоліт не є палим компонентом або окислювачем, але водночас інтенсифікує процес горіння (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Вплив кількості кріоліту на швидкість горіння горіння ХТЕС на рідкому склі

Щодо сполучної композиції можна зазначити, що її вміст не чинить практично жодного впливу на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на рідкому склі.

Підвищення вмісту кварцового піску, що є вогнетривким наповнювачем в екзотермічній суміші, призводить до зниження температури горіння, збільшення температури займання за вмістом піску понад 55% мас, (рисунок 3.16) і зниження швидкості горіння (рисунок 3.17). Однак це не є результатом будь-якого негативного впливу кварцового піску на теплофізичні властивості екзотермічних сумішей. Оскільки наповнювач вводиться в суміш до 100 % маси, то він не є суворо дозованим компонентом. Чим більше у складі суміші наповнювача, тим менше

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термітної складової, і тим менші температура горіння і швидкість горіння суміші, а температура займання - вища.

Рисунок 3.16 - Вплив кількості кварцового піску на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на рідкому склі

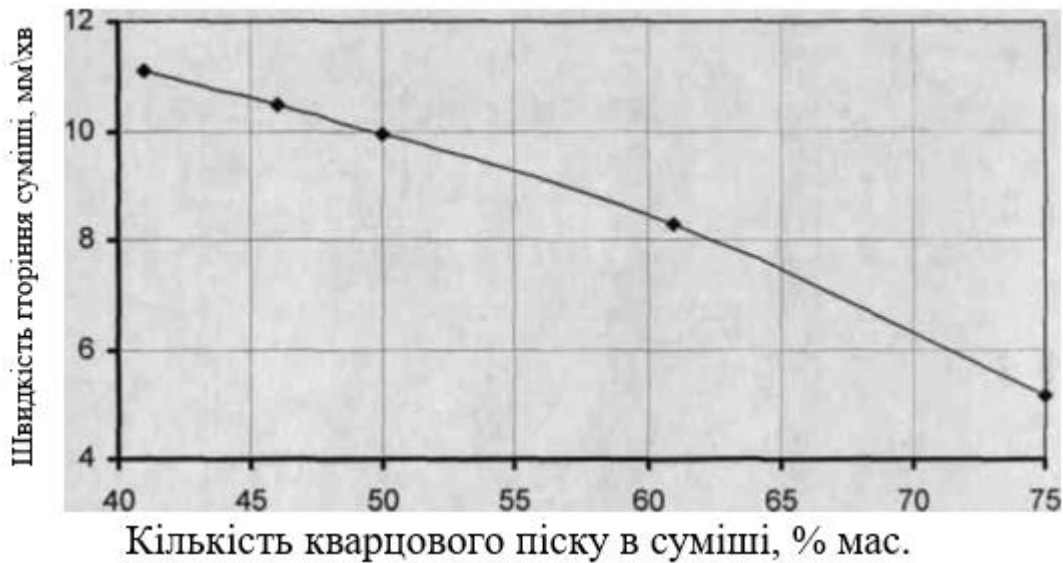


Рисунок 3.17 - Вплив кількості кварцового піску на швидкість горіння ХТЕС на рідкому склі

### 3.1.1.4 Дослідження впливу легковагових вогнетривких наповнювачів на технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості ХТЕС на рідкому склі

Як було сказано вище, ефективність застосування екзотермічних сумішей частково визначається теплоакумулюючою здатністю сумішей після екзотермічної реакції. Зі зниженням щільності та теплопровідності суміші теплоакумулювальна здатність також знижується, що може підвищити ефективність застосування екзотермічної суміші. Крім того, зниження густини екзотермічних сумішей веде до зниження маси суміші. Тому нами проводилися дослідження можливості часткової або повної заміни кварцового піску різними легковагими вогнетривкими наповнювачами, зокрема і з нижчою, ніж у кварцового піску густиною.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

Попередні дослідження показали, що екзотермічні суміші, які містять як наповнювач кварцовий пісок, мають густину 1580...1860 кг/м<sup>3</sup>.

Згідно з даними [5] ефективність дії надливу багато в чому залежить від густини матеріалу, з якого виконано його робочу порожнину. При цьому істотного теплоізоляційного ефекту (порівняно з умовами охолодження надливу в піщаних формах), а, отже, і підвищення ефективності роботи надливу, можна досягти за густини суміші не більше 1200 кг/м<sup>3</sup>. Тому густина екзотермічної суміші (як до,

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

так і після протікання екзотермічної реакції) також є важливою службовою характеристикою. У зв'язку з цим одним із завдань розроблення екзотермічних ХТЕС було зниження густини оболонок до  $1200 \text{ кг/м}^3$  і нижче. Для цього з метою зниження густини екзотермічної суміші (і підвищення ефективності дії надливу) як до, так і після реакції, як наповнювач до суміші вводили матеріали, що мають досить високу вогнетривкість, нижчу, ніж у кварцового піску, густину і теплоакумулюючу здатність. Як такі наповнювачі застосовували шамотний порошок марки ПШБ (ТУ 14-8-90-74), керамзит щебенеподібний (ГОСТ 9757-90) мелений, мікросфера алюмосилікатна (ТУ 5712-002-713025063-2007).

Легковагі наповнювачі, що вводяться, суттєво впливають на міцнісні властивості ХТЕС.

Міцність на стиск екзотермічної суміші через 24 години за відсутності в суміші легковагих наповнювачів становить  $1,6...1,7 \text{ МПа}$ , за 50% легковагих наповнювачів міцність знижується для шамотного порошку до  $1,4 \text{ МПа}$ , для керамзиту - до  $0,8 \text{ МПа}$ , а для мікросфери - до  $0,4 \text{ МПа}$ .

У разі повної заміни кварцового піску легковагими наповнювачами міцність для шамотного порошку і мікросфери падає до  $0,4 \text{ МПа}$ , а для керамзиту - до  $0,1 \text{ МПа}$ . Зниження міцності екзотермічної суміші з шамотним порошком є результатом великого вмісту дрібної фракції в самому шамотному порошку, що поставляється за ТУ.

Як впливає з отриманих результатів, усі легковагові наповнювачі тією чи іншою мірою знижують густину суміші, однак у всіх випадках разом зі зниженням густини погіршуються міцності.

У разі застосування керамзиту і мікросфери зниження міцності пояснюється тим, що дозування сухих компонентів суміші здійснювали в масових відсотках (мас. %), тоді як ці наповнювачі мають значно нижчу густину, ніж кварцовий пісок, а отже, та сама кількість за масою перелічених вище матеріалів матиме значно більший об'єм, а отже, більшу питому поверхню. Підвищення вмісту легковагих наповнювачів у суміші в масових відсотках призводить до того, що в одиниці об'єму суміші зменшується об'ємний вміст термітної складової, що негативно відбивається на теплофізичних властивостях суміші, що підтверджується нашими експериментальними даними.

Тому під час використання легковагих наповнювачів необхідне дозування їх об'ємними частинами.

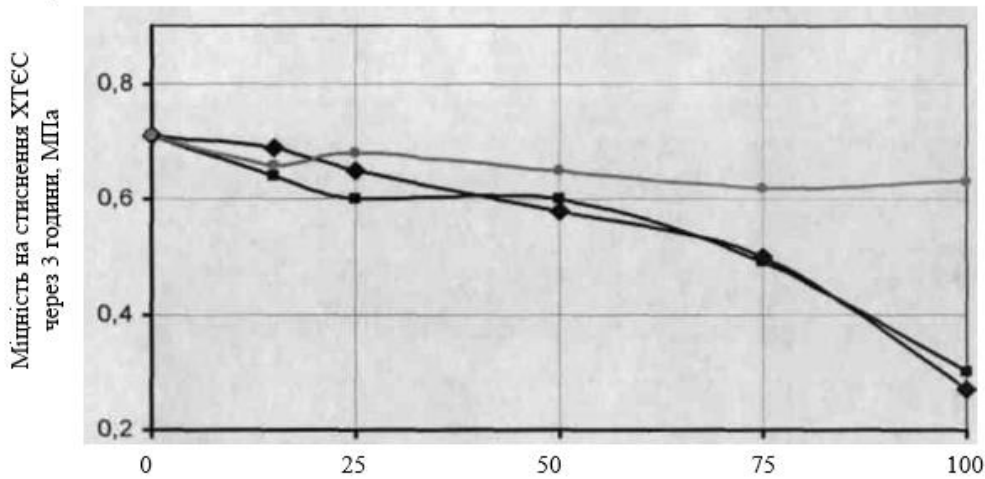
Під час вивчення впливу кількості легковагих наповнювачів (об'ємн. %) на міцнісні та технологічні властивості з'ясувалося (рисунок 3.20), що відносно невелике зниження міцності сумішей відзначається за часткової та повної заміни кварцового піску мікросферою. Очевидно, це є наслідком того, що фракційний склад мікросфери дуже близький до складу кварцового піску (див. таблицю 2.1) і

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

не містить великих включень за невеликої кількості пилоподібної фракції. У разі заміни кварцового піску шамотним порошком і керамзитом до 50...75 % об'ємного об'єму від загального об'єму наповнювача спостерігається більш значне зниження характеристик міцності, ніж у випадку з мікросферою. Для збереження задовільних характеристик міцності в цьому випадку потрібно деяке підвищення кількості сполучної композиції. Заміна кварцового піску цими наповнювачами понад 75 % об'ємного об'єму небажана, оскільки призводить до більш різкого зниження характеристик міцності.

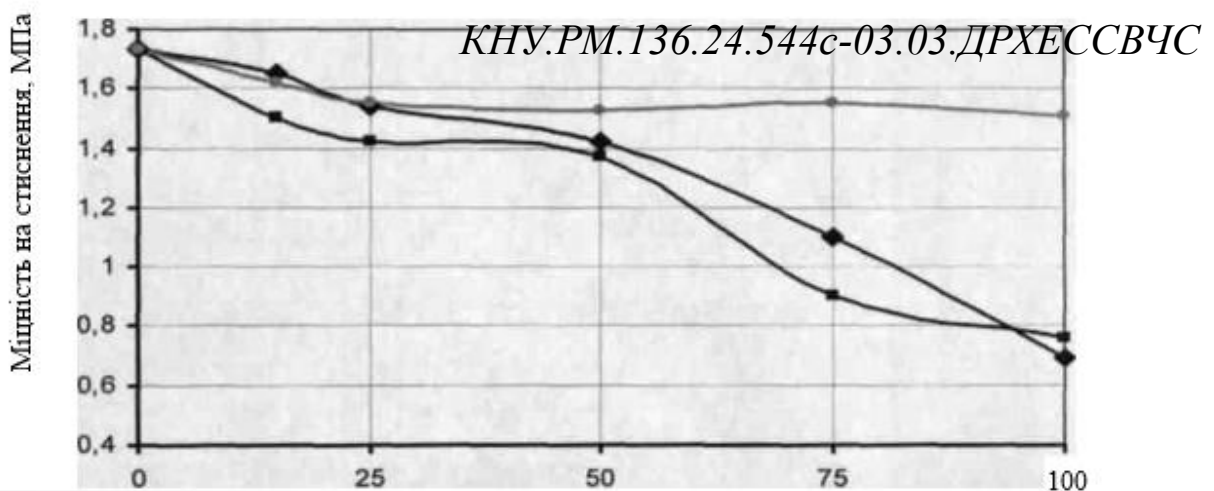
При дозуванні легковагих наповнювачів об'ємними відсотками видно, що зниження густини під час заміни ними кварцового піску відбувається менш інтенсивно, і зниження густини суміші до 1200 кг/м<sup>3</sup> і нижче є можливим (рисунк 3.21). При цьому зберігаються задовільні технологічні та теплофізичні властивості ХТЕС.

А)



Кількість легковагового наповнювача під час заміни кварцового піску, об'єм, % від загального обсягу наповнювача.

Б)

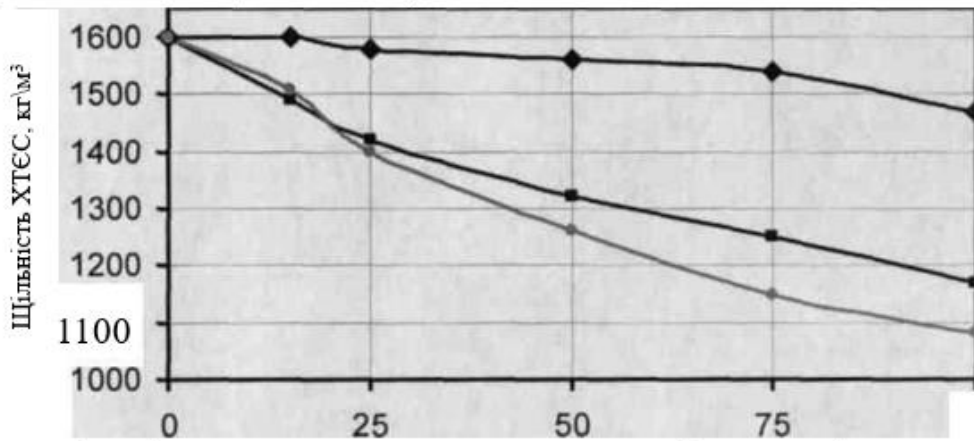


			Кількість легковагового наповнювача під час заміни кварцового піску	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Об'єм, % від загального обсягу наповнювача	

◆- Шамотний порошок, -■- керамзит мелений, -●- мікросфера



Рисунок 3.20 - Вплив кількості легковагих наповнювачів (об'ємн. %) у разі заміни ними кварцового піску на міцність при стисненні холоднотверднучої екзотермічної суміші на рідкому склі через 3 години (а) 24 години (б) (кількість сполучної композиції постійна)



Кількість легковагового наповнювача під час заміни кварцового піску, об'єм, % від загального обсягу наповнювача.

◆-Шамотний порошок, ■- керамзит мелений, ●- мікросфера

Рисунок 3.21 - Вплив кількості легковагових наповнювачів (об'єм, %) на густину екзотермічної суміші в разі заміни ними кварцового піску

Під час вивчення впливу кількості легковагих наповнювачів (об'ємн. %) на теплофізичні властивості з'ясувалося, що температура горіння і температура займання екзотермічних сумішей змінюються незначною мірою, при цьому вид обраного легковагового наповнювача також не чинить якогось істотного впливу.

З наведених експериментальних даних можна зробити висновок, що керамзит доцільно вводити в суміш до 30% об'єму, а мікросферу - до 75%. За необхідності підвищення нижньої межі міцності та збільшення вмісту легковажкого наповнювача слід вводити більшу кількість сполучної композиції.

Що стосується впливу на живучість ХТЕС з рідким склом, то, як видно з таблиці 3.5, вміст легковагих наповнювачів у разі заміни ними кварцового піску практично не впливає на цю властивість суміші. Збільшення вмісту шамотного порошку веде до зниження живучості. Ймовірно, це є результатом великого вмісту пилоподібної фракції в шамотному порошку, що поставляється за ТУ (див. таблицю 2.1).

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 - Вплив типу і кількості легковагового наповнювача на живучість ХТЕС на рідкому склі

Тип легковагового наповнювача	Кількість легковагового наповнювача від загальної маси наповнювача, % об'ємн.				
	0%	25 %	50%	5%	100 %
	Живучість (за 20 °С), хв				
Шамотний порошок	26	24	23	21	15
Керамзит мелений	25	24	24	25	23
Мікросфера алюмосилікатна	26	26	25	25	26

Підбиваючи підсумок вищесказаного, можна зазначити, що найсуттєвіший вплив на теплофізичні властивості ХТЕС на рідкому склі мають:

- 1) на температуру горіння - алюмінієвий порошок, залізна окалина;
- 2) на температуру займання - кріоліт, калієва селітра, алюмінієвий порошок;
- 3) на швидкість горіння - кріоліт, алюмінієвий порошок.

Зв'язувальне (рідке скло) і вогнетривкий наповнювач (кварцовий пісок) істотного впливу на ці властивості не мають.

### 3.1.2 Дослідження впливу компонентів на властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

Нижче наведено результати експериментів із дослідження технологічних, міцнісних (таблиця 3.6) і теплофізичних (таблиця 3.7) властивостей для ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі. Значення живучості, характеристик міцності, температури займання, температури горіння і швидкості горіння наведено усередненими за результатами трьох дослідів.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 3.6 - Експериментальні дані щодо технологічних і міцнісних властивостей ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Номер досвіду	Кількість компонентів у суміші						Технологічні та міцнісні властивості екзотермічної суміші			
	Алюмінієвий порошок, мас. % (X <sub>1</sub> )	Залізна руда (залізна окалина), мас. % (X <sub>2</sub> )	Калієва селітра, мас. % (X <sub>3</sub> )	Кріоліт, мас. % (X <sub>4</sub> )	Зв'язувальна композиція (смола+затверд.), мас. % (X <sub>5</sub> )	Кварцовий пісок, мас. % (X <sub>6</sub> )	Живучість, хв	Міцність на стиснення через 1 годину, МПа	Міцність на стиск через 3 години, МПа	Міцність на стиск через 24 години, МПа
Досвід 1	30	20	10	8	10,4	32	12,3	0,783	1,453	2,57
Досвід 2	30	6	10	8	2,6	46	12,3	0,033	0,05	0,083
Досвід 3	30	20	10	0	2,6	40	12,7	0,03	0,053	0,097
Досвід 4	30	20	0	8	10,4	42	12,3	0,9	1,48	2,59
Досвід 5	30	6	0	8	10,4	56	12	0,963	1,65	2,617
Досвід 6	30	6	10	0	2,6	54	12	0,047	0,08	0,107
Досвід 7	30	20	0	0	10,4	50	12	0,973	1,6	2,637
Досвід 8	30	6	0	0	2,6	64	12,3	0,067	0,13	0,17
Досвід 9	10	20	10	8	2,6	52	12,3	0,063	0,113	0,163
Досвід 10	10	6	10	8	10,4	66	12	0,827	1,477	2,623
Досвід 11	10	20	10	0	2,6	60	12,7	0,103	0,227	0,33
Досвід 12	10	20	0	8	10,4	62	12	0,833	1,49	2,563
Досвід 13	10	6	0	8	10,4	76	12,3	0,93	1,583	2,617
Досвід 14	10	6	10	0	2,6	74	12,3	0,21	0,403	0,53
Досвід 15	10	6	0	0	2,6	84	12,3	0,29	0,67	0,723
Досвід 16	10	20	0	0	10,4	70	11,7	0,883	1,5	2,643
Досвід 17	20	13	5	4	10,4	58	12	1,037	1,563	2,51
Досвід 18	20	13	5	0	10,4	62	12	1,117	1,707	2,79
Досвід 19	20	13	0	4	10,4	63	12	1,023	1,62	2,637
Досвід 20	20	13	0	0	10,4	67	12,3	1,15	1,79	2,837

### Продовження таблиці 3.6

Номер досвіду	Кількість компонентів у суміші						Технологічні та міцнісні властивості екзотермічної суміші			
	Алюмінієвий порошок, мас. % (X <sub>1</sub> )	Залізна руда (залізна окалина), мас. % (X <sub>2</sub> )	Калієва селітра, мас. % (X <sub>3</sub> )	Кріоліт, % (X <sub>4</sub> )	мас. зв'язувальна композиція (смола+затверд.), мас. % (X <sub>5</sub> )	Кварцовий пісок, мас. % (X <sub>6</sub> )	Живучість, хв	Міцність на стиснення через 1 годину, МПа	Міцність на стиск через 3 години, МПа	Міцність на стиск через 24 години, МПа
Досвід 21	20	13	5	4	2,6	58	12,7	0,05	0,067	0,093
Досвід 22	20	13	5	0	2,6	62	11,7	0,083	0,117	0,133
Досвід 23	20	13	0	4	2,6	63	12,3	0,083	0,103	0,113
Досвід 24	20	13	0	0	2,6	67	12,7	0,143	0,253	0,483
Досвід 25	30	20	10	8	2,6	32	12,3	0,027	0,043	0,073
Досвід 26	10	6	0	0	10,4	84	12	1,173	1,873	3,113
Досвід 27	20	13	5	4	6,5	58	12,7	0,53	0,983	1,71
Досвід 28	20	13	5	0	6,5	62	12	0,663	1,03	1,803
Досвід 29	20	13	0	4	6,5	63	12	0,637	0,947	1,737
Досвід 30	20	13	0	0	6,5	67	12	0,693	1,073	1,933

Таблиця 3.7 - Експериментальні дані щодо теплофізичних властивостей ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Номер досвіду	Кількість компонентів у суміші						Теплофізичні властивості екзотермічної суміші		
	Алюмінієвий порошок, мас. % (X <sub>1</sub> )	Залізна руда (залізна окалина), мас. % (X <sub>2</sub> )	Калієва селитра, мас. % (X <sub>3</sub> )	Кріоліт, мас. % (X <sub>4</sub> )	Зв'язувальна композиція (смола+затверд.), мас. % (X <sub>5</sub> )	Кварцовий пісок, мас. % (X <sub>6</sub> )	Температура займання t <sub>0</sub> , °C	Температура горіння °C	Швидкість горіння, мм/хв
Досвід 1	30	20	10	8	10,4	32	378	1683	16
Досвід 2	30	6	10	8	2,6	46	453	1624	13
Досвід 3	30	20	10	0	2,6	40	685	1682	10,15
Досвід 4	30	20	0	8	10,4	42	661	1676	13,4
Досвід 5	30	6	0	8	10,4	56	774	1546	10,8
Досвід 6	30	6	10	0	2,6	54	749	1600	8,1
Досвід 7	30	20	0	0	10,4	50	996	1660	6,15
Досвід 8	10	20	10	8	2,6	52	733	1330	9,2
Досвід 9	10	6	10	8	10,4	66	773	1231	6,7
Досвід 10	10	20	10	0	2,6	60	855	1333	5,15
Досвід 11	10	20	0	8	10,4	62	835	1299	7,2
Досвід 12	10	6	0	8	10,4	76	890	1120	6,5
Досвід 13	10	20	0	0	10,4	70	1107	1255	4,2
Досвід 14	20	13	5	4	10,4	58	672	1583	9,25
Досвід 15	20	13	5	0	10,4	62	843	1513	6,85
Досвід 16	20	13	0	4	10,4	63	847	1438	8,55
Досвід 17	20	13	5	4	2,6	58	726	1557	10,7
Досвід 18	20	13	5	0	2,6	62	846	1500	8,1
Досвід 19	20	13	0	4	2,6	63	850	1422	9,1
Досвід 20	30	20	10	8	2,6	32	417	1679	15,8

Як і у випадку ХТЕС із рідким склом, для ХТЕС з лужною фенолоформальдегідною смолою, отримані шляхом опрацювання експериментальних даних на ЕОМ, мають коефіцієнт кореляції, близький до 1 ( $r > 0,99$ ), то можна сказати, що вони вельми точно описують вплив різних компонентів суміші на живучість і міцнісні характеристики та можуть застосовуватись для визначення живучості, зміни міцності ХТЕС в часі та теплофізичних властивостей і встановлення впливу кожного компонента окремо на ці властивості.

### **3.1.2.1 Дослідження впливу компонентів на живучість ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі**

Компоненти, які входять до складу сухої маси суміші, не мають помітного впливу на живучість. Очевидно, це є наслідком повної інертності сполучної композиції до всіх сухих компонентів суміші. Кількість сполучної композиції так само не чинить істотного впливу на живучість ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі.

### **3.1.2.2 Дослідження впливу компонентів на міцнісні властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі**

Найбільший вплив на міцність особливо після добового твердіння чинять кількість зв'язувальної композиції та час твердіння (рисунк 3.22).

Порівняно з ХТЕС на рідкому склі, у сумішах на лужній фенолоформальдегідній смолі вплив сухих компонентів на міцність практично відсутній.

### **3.1.2.3 Дослідження впливу компонентів на теплофізичні властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі**

Для температури займання ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі було враховано температури горіння, швидкості горіння.

Збільшення вмісту алюмінієвого порошку (як і в рідинностекольних ХТЕС) підвищує температуру горіння, знижує температуру займання суміші (рисунк 3.23) і збільшує швидкість горіння суміші (рисунк 3.24).

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

Змін.	Друк	№ версії	Голов.	Дата	Друк
		1800			
		1400			

Рисунок 3.23 - Вплив кількості алюмінієвого порошку на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі



Рисунок 3.24 - Вплив кількості алюмінієвого порошку на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Збільшення кількості залізної окалини підвищує температуру горіння і знижує температуру займання ХТЕС на лужній фенолофор-мальдегідній (рисунок 3.25), а також підвищує швидкість горіння ХТЕС за вмістом окалини до 14 % мас, (рисунок 3.26). Цей вплив близький до впливу залізної окалини на теплофізичні властивості в рідинноскляних ХТЕС.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

		1800							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Рисунок 3.25 - Вплив кількості залізної руди на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі



Рисунок 3.26 - Вплив кількості залізної руди на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Збільшення кількості калієвої селітри спочатку підвищує температуру горіння з 1410 °С до 1570 °С, а потім її знижує до 1490 °С і різко знижує температуру займання (рисунок 3.27), і веде до підвищення швидкості горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі (рисунок 3.28).

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





Рисунок 3.28 - Вплив кількості калієвої селітри на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Підвищення вмісту кріоліту різко знижує температуру займання суміші, при цьому температура горіння змінюється незначно (рисунок 3.29). При цьому значно збільшується швидкість горіння (рисунок 3.30).



◆- Температура займання, ▲- температура горіння

Рисунок 3.29 - Вплив кількості кріоліту на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					



Рисунок 3.30 - Вплив кількості кріоліту на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Кількість сполучної композиції не чинить істотного впливу на температуру горіння і температуру займання суміші на лужній фенолоформальдегідній смолі.

Збільшення вмісту сполучної композиції незначно знижує швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі (рисунок 3.31).

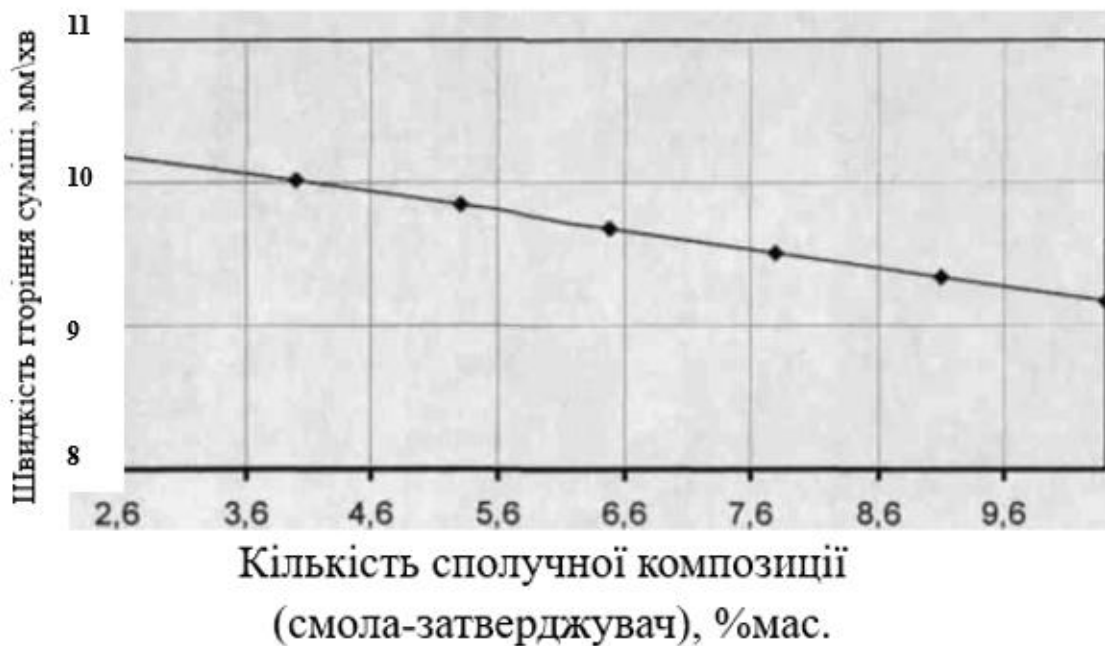


Рисунок 3.31 - Вплив кількості кріоліту на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС*

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищення вмісту кварцового піску веде до зниження температури горіння, збільшення температури займання (рисунок 3.32) і зниження швидкості горіння (рисунок 3.33).



Рисунок 3.32 - Вплив кварцового піску на температуру горіння і температуру займання ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі



Рисунок 3.33 - Вплив кількості кварцового піску на швидкість горіння ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

За підсумками розгляду впливу компонентів на теплофізичні властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі можна зазначити, що компоненти мають такий самий (або дуже схожий) вплив, як і у випадку з ХТЕС на рідкому склі.

### 3.1.2.4 Дослідження впливу легковагих наповнювачів на властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Вплив вмісту легковагих наповнювачів на щільність і на міцнісні властивості ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі наведено відповідно в таблиці 3.8 і таблиці 3.9.

З таблиці 3.8 видно, що, наприклад, у разі заміни частини кварцового піску до 75% (об'ємних) мікросферою об'ємну вагу ХТЕС знижують з 1610 кг/м<sup>3</sup> до 1130 кг/м<sup>3</sup>. При цьому (таблиця 3.9) властивості міцності перебувають у заданих межах (через 3 години) 1,35 - 0,86 МПа, і через 24 години - 2,0 - 1,77 МПа, а застосування керамзиту в тих самих кількостях знижує густину з 1610 до 1210 кг/м<sup>3</sup>, властивості міцності при цьому знижуються до 0,62 МПа через 3 години та до 1,36 МПа через 24 години і так само перебувають у допустимих межах. У таблиці 3.9 перше значення означає міцність на стиск через 3 години, а друге значення - через 24 години.

У разі застосування як наповнювача мікросфери алюмосилікатної мікросфери, зниження міцності суміші є незначним, а застосування керамзиту спричиняє істотне зниження міцності та призводить до необхідності підвищення вмісту зв'язувальної композиції в суміші.

Нижню межу міцності при стисненні (1,4 МПа) прийнято для екзотермічних сумішей з легковагими наповнювачами. Керамзит може вводиться в суміш до 50...60%) об'ємно від загального обсягу наповнювача, а мікросфера – до 75...80%). За необхідності підвищення нижньої межі міцності та збільшення вмісту легковажного наповнювача необхідно вводити більшу кількість сполучної композиції.

Таблиця 3.8 - Вплив легковагового наповнювача на густину суміші

Кількість легковагового наповнення нителя в суміші, % об'ємн. від загального обсягу наповнювача	0%	25%	50%	75%	100%
Щільність суміші (кг/м <sup>3</sup> ) при використуванні в якості легковагоного наповнювача:					
Керамзит мелений	1610	1390	1260	1210	1150
Мікросфера алюмосилікатна	1610	1415	1250	ІЗО	1100

Таблиця 3.9 - Вплив легковажного наповнювача на міцність суміші на стиск

Кількість легковажного наповнювача в суміші, % об'ємн. від загального обсягу	0%	25%	50%	75%	100%
Живучість суміші, хв	23	24	27	25	25
Міцність іь суміші (МПа) на стиснення через 3 години і через 24 години при використанні в якості легковажного наповнювача:					
Керамзит мелений	1,35/2,0	1,1/1,65	0,7/1,40	0,62/1,36	0,6/1,15
Мікросфера алюмосилікатна	1,35/2,0	0,95/1,9	0,89/1,8	0,86/1,77	0,84/1,76

На живучість ХТЕС із лужною фенолоформальдегідною смолою легкі вогнетривкі наповнювачі впливу не мають.

### 3.2 Дослідження осипання ХТЕС

Осипальність ХТЕС здебільшого залежить від кількості сполучної композиції. Нижче наведено результати експериментальних даних з вивчення впливу кількості сполучної композиції на осипальність ХТЕС на рідкому склі (таблиця 3.10) і на лужній фенолоформальдегідній смолі (таблиця 3.11).

Таблиця 3.10 - Вплив кількості сполучної композиції на осипання ХТЕС на рідкому склі

Кількість сполучної композиції, % мас.	6,6	7,7	8,8	9,9	11	13,2
Міцність на стиск через 24 години, МПа	1,13	1,58	1,70	2,01	2,30	2,60
Осипальність через 24 години, %	7,85	4,82	0,45	0,33	0,25	0,12

Таблиця 3.11 - Вплив кількості сполучної композиції на осипаємість ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі

Кількість сполучної композиції, % мас.	4	4,6	5,3	6	6,6	8
Міцність на стиск через 24 години, МПа	1,13	1,58	1,86	2,13	2,48	2,76
Осипальність через 24 години, %	6,87	4,22	0,41	0,29	0,2	0,12

~~КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС~~

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналізуючи отримані результати, можна відзначити, що зниження кількості сполучної композиції в рідинностекольних ХТЕС нижче 8,8% ме, а в смоляних ХТЕС нижче 5,3% ме веде до різкого зниження осипаємості, незважаючи на те, що задовільні міцнісні характеристики зберігаються і за нижчого вмісту сполучної композиції. У зв'язку з цим не рекомендується зниження сполучної композиції нижче зазначених меж.

### 3.3 Оптимізація складів ХТЕС для виливків із чорних сплавів

Як було сказано вище, найчастіше екзотермічний обігрів заготовок застосовують під час виготовлення виливків із чавуну і сталі різних марок.

У таблиці 3.12 наведені рекомендовані склади ХТЕС на рідкому склі та лужній фенолоформальдегідній смолі для різних типів чорних сплавів. У таблиці 3.13 наведено технологічні та теплофізичні властивості рекомендованих ХТЕС.

Таблиця 3.12 - Склади ХТЕС для виливків із чорних сплавів

Компоненти ХТЕС		Вміст компонентів, % мас.	
Алюмінієвий порошок вторинний АПШ (ТУ 48 - 5 - 152 - 78)		16,0...26,0(опт. 18.5)	
Залізна руда або залізна окалина		10,0...15,0 (опт. 11,5)	
Селітра калієва технічна марки Б (ГОСТ 19790-74)		2,7 ..7,2 (опт.6,3)	
Кріоліт штучний технічний марки КА (ГОСТ 10561 - 80)		3,0...7,2 (опт.5,8)	
Кварцовий пісок 2К2О202 (ГОСТ 2138-91)		50,0...65,0(опт57,9)	
Зв'язувальна композиція, % мас, від загальної маси суміші	на основі рідкого скла	8,8...13,2 (опт. 11,0)	-
	на основі лужно фенолоформальдегідної смоли	-	5,3...8,0 (опт. 6,5)

Таблиця 3.13 - Технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості ХТЕС для виливків із чорних сплавів

Технологічні,міцнісні властивості		теплофізичні	ХТЕС на рідкому сієклі	ХТЕС на лужній фенолоформальдегідній смолі
Живучість, хв			5...20 (опт. 15)	5...20 (опт. 15)
Міцність при стисненні (МПа) через	1 година		0,42... 0,72 (опт. 0,58)	0,62...1,12(опт.0,81)
	3 години		0,63... 1,24 (опт. 0,92)	0,95...1,5 (опт. 1,15)
	24 години		1,51...2,56 (опт. 1,96)	1,6...2,6 (опт. 2,15)
Щільність, кг/м <sup>3</sup>			1580... 1700 (опт. 1650)	1560... 1660 (опт. 1590)
Температура займання, °С			528..829 (опт. 647)	519..821 (опт. 639)
Температура горіння, °С			1432...1657 (опт. 1497)	1450...1670 (опт. 1517)
Швидкість горіння, см/хв			<i>ц::Ж£(°ГМ,8 "</i>	<i>G,O..Jb£- '-(0 "Г-9,6)</i>

КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС

Арк.

Змн. Арк. № докум. Підпис Дата

На рисунку 3.34 за табличними даними представлено оптимальні області вмісту зв'язувальних композицій і міцнісні властивості ХТЕС на рідкому склі (а) і лужній фенолоформальдегідній смолі (б) з прийнятими обмеженнями.

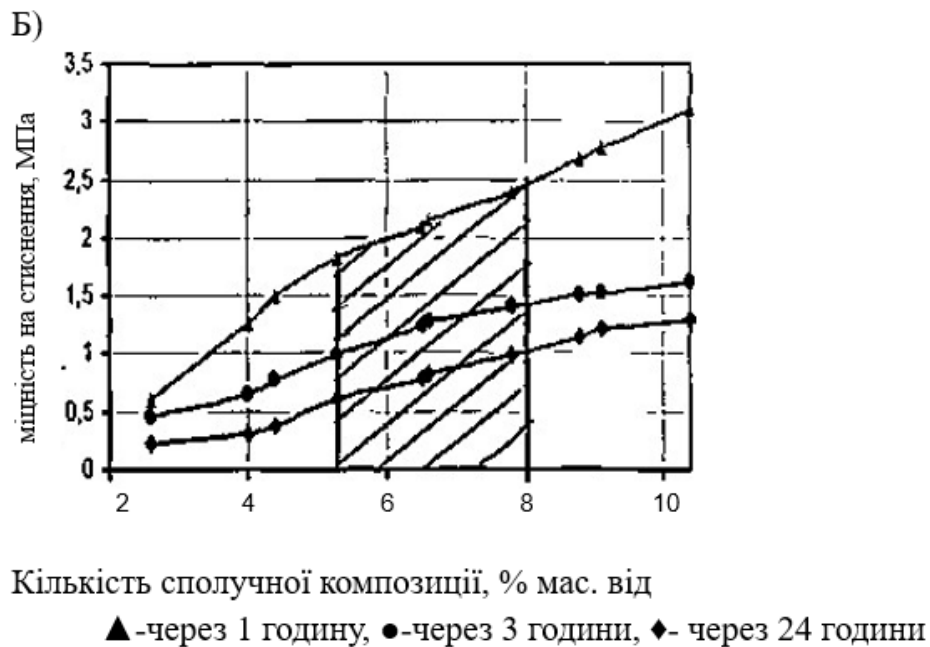


Рисунок 3.34 - Оптимальні області вмісту сполучних композицій у ХТЕС на рідкому склі ( а) і лужній феноло-формальдегідній смолі (б)

Слід зазначити, що:

1) Вміст алюмінієвого порошку може змінюватися в зазначених вище інтервалах у зв'язку з можливою різницею в температурі заливки для різних марок чорних сплавів, а також у зв'язку з різною наведеною товщиною надливу, оскільки вміст алюмінієвого порошку має прямий вплив на теплофізичні характеристики суміші.

2) Вміст залізної окалини може змінюватися в зазначених інтервалах також у зв'язку з впливом її кількості на температуру горіння суміші.

3) Вміст калієвої селітри може змінюватися в зазначених вище інтервалах, оскільки її вміст має прямий вплив на теплофізичні характеристики суміші.

4) Вміст криоліту в ХТЕС може змінюватися в зазначених вище інтервалах залежно від необхідної температури займання суміші, оскільки очевидний його превалюючий вплив на температуру займання ХТЕС.

5) Вміст сполучної композиції може змінюватися в зазначених вище інтервалах залежно від складу ХТЕС. Зниження вмісту сполучної композиції нижче зазначеного інтервалу веде до різкого зниження міцності ХТЕС і призведе до поломок готових виробів. Підвищення вмісту сполучної композиції вище зазначеного інтервалу веде до злежування суміші.

Для отримання більш низьких значень густини кварцовий пісок може частково замінюватися легковагими наповнювачами мікросферою алюмосилікатною (до 75... 80% об'ємного об'єму від об'єму кварцового піску) або меленим керамзитом (до 50% об'ємного об'єму від об'єму кварцового піску). У таблиці 3.14 наведені склади ХТЕС з легковаговими наповнювачами для виливків із чорних сплавів у перерахунку на масові відсотки з урахуванням введення легковагових наповнювачів. Застосування як легковагового наповнювача одночасно меленого керамзиту і мікросфери алюмосилікатної не рекомендується.

Для сумішей, що містять як легкий наповнювач мелений керамзит, кількість кварцового піску призначають за значенням, яке міститься в чисельнику, а для сумішей, які містять мікросферу алюмосилікатну, - у знаменнику дробу.

Таблиця 3.14 - Склади ХТЕС із легковагими наповнювачами для

Компоненти ХТЕС	Вміст компонентів, % мас.
Алюмінієвий порошок вторинний АПВ (ТУ 48 - 5 - 152-78)	24,0...31,0 (опт.26,0)
Залізна руда або залізна окалина	16,0. .21,0 (опт 17,5)
Селітра калієва технічна марки Б (ГОСТ 19790-74)	4,0...9,8 (опт 7,6)
Криоліт штучний технічний марки КА (ГОСТ 10561 - 80)	4,5. .8,8 (опт 7,4)
Керамзит мелений	7,0. .11,0 (опт 8,0)
Мікросфера алюмосилікату" (ТУ 5712-002-713025063-2007)	16,0 ..19,0 (опт 17,0)
Кварцовий пісок 2К2О202 (ГОСТ 2138-91)	36,5..38,5 (опт 37,0)/21,0..24,5 (опт 23,5)



Зв'язувальна композиція, % має від загальної маси суміші	на основі рідкого скла	11,0...15,4 (опт.13,2)	-
	На основі лужної смоли	-	6,7..9,3 (опт 8,0)
Щільність (кг/год') при використанні в як легковесний наповнювач,	керамзиту	1300. .1320	
	мікросфери	1100...1180	

Як встановлено раніше, суміші, що містять у своєму складі легковагі наповнювачі (керамзит мелений і мікросферу алюмосилікатну), володіють тими самими тепло-фізичними властивостями, що й суміші, які містять як наповнювача один кварцовий пісок. При цьому щільність суміші зменшується на 20...25 %.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.03.ДРХЕССВЧС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

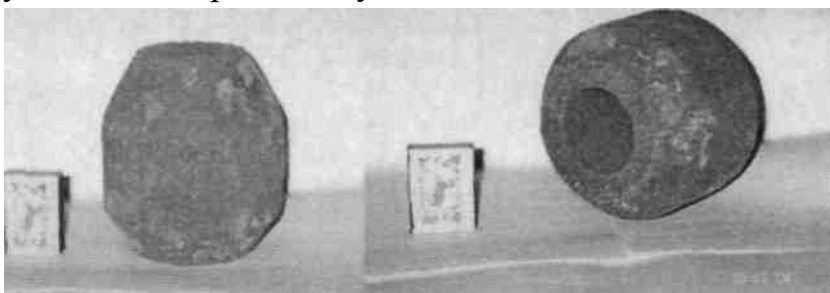
## 4. Виробнича перевірка, впровадження та технологія виготовлення виробів з ХТЕС

### 4.1 Конструкція та виготовлення оболонок із ХТЕС

Під час конструювання оболонок застосовуються різні технологічні прийоми, що враховують особливості технологічного процесу виготовлення форм. На рисунку 4.1 представлені оболонки, виготовлені з розроблених ХТЕС.

Для запобігання пригару екзотермічної суміші до тіла вилівка внизу оболонки рекомендується виконувати розділювальний поясок (рисунок 4.1, в) з піщаної холоднотверднучої суміші на тій самій сполучній композиції, що й екзотермічна суміш. Оболонки для закритих прибутків рекомендується виготовляти з вентиляційними отворами.

Для кріплення в сирі піщано-глинисті форми на бічних поверхнях оболонок можуть виготовлятися вертикальні виступи. Після виготовлення форми у відбиток надливу вручну встановлюють оболонку, оскільки формувальна суміш у цьому разі є пластичною, то під час встановлення надливу вертикальні виступи деформують суміш із подальшим обтисненням оболонки. Для надійної фіксації оболонок, що встановлюються перед формуванням, виконуються один або кілька горизонтальних пасків на зовнішній поверхні оболонки. Крім того, зовнішні вертикальні поверхні виконуються зі зворотними ухілами.



а)

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.04.ВПВТВВХТЕС</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Гобвел Е.Т.</i>				Виробнича перевірка, впровадження та технологія виготовлення виробів з ХТЕС	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Скідін І.Ф.</i>							
<i>Реценз</i>						<i>каф.МЧМЛВ</i> <i>група ЛВ-23-1м</i>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Скідін І.Ф.</i>							
<i>Затверд.</i>	<i>Савельєв С.Г.</i>							

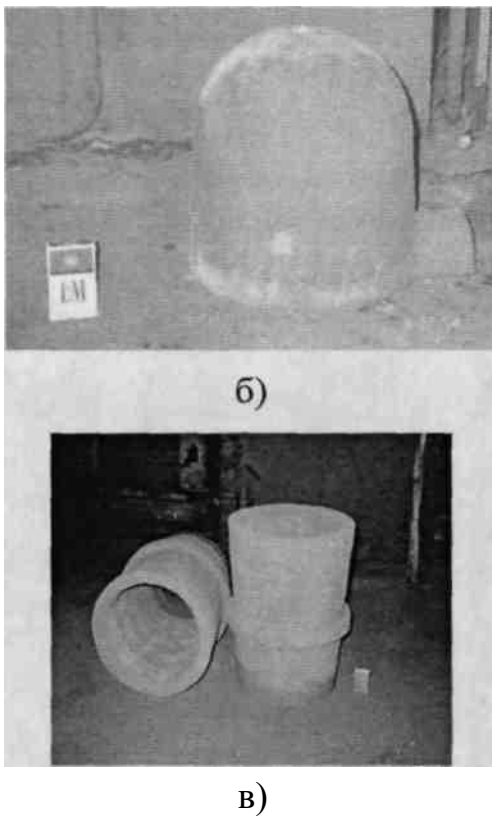


Рисунок 4.1 - Екзотермічні оболонки, виготовлені з ХТЕС

Технологія виготовлення оболонок із ХТЕС містить такі стадії:

1) Підготовка оснащення. Робочу поверхню оснащення очищають від залишків прилиплої суміші і на неї наносять розділове покриття. При виготовленні оболонок з ХТЕС може застосовуватися як дерев'яне, так і металеве оснащення. Робочу поверхню моделей і стрижневих ящиків слід забарвлювати епоксидними, алкідними, хімічно стійкими покриттями, нітроемалями, що виключають механічну та хімічну взаємодію з сумішшю. На рисунку 4.2 представлено варіанти технологічного оснащення, що застосовується для виготовлення оболонок із ХТЕС.

2)

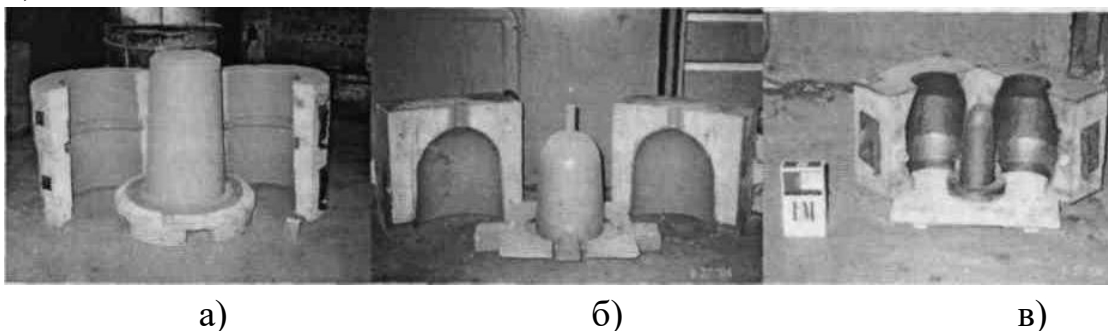


Рисунок 4.2 - Технологічне оснащення для виготовлення оболонок із ХТЕС

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.РМ.136.24.544с-03.04.ВПВТВВХТЕС				

Частини ящика, що утворюють зовнішню поверхню оболонки, яка не контактує з металом, найдоцільніше виконувати роз'ємними (рис. 4.2, а, б, в), оскільки застосування звичайних ящиків у зв'язку з підвищеною адгезією суміші потребуватиме виконання ухилів на бічних поверхнях, що призводить до збільшення витрати екзотермічної суміші.

3) Приготування суміші на змішувачах періодичної і безперервної дії. Змішувачі безперервної дії забезпечують кращу якість перемішування, дають змогу застосовувати суміші з малою живучістю, зручніші в роботі, тому їхнє застосування є кращим. Під час приготування ХТЕС на змішувачах безперервної дії попередньо необхідно приготувати багатокомпонентну суху масу суміші на бегунах або лопатевих змішувачах періодичної дії. Після цього в змішувач безперервної дії спочатку подають суху масу суміші, потім затверджувач і на деякій відстані від місця введення затверджувача подають сполучну речовину.

Таким чином, приготування ХТЕС на змішувачах безперервної дії потребує попередньої підготовки сухої маси, однак застосування таких змішувачів дасть змогу скоротити час заповнення оснащення, а також мати порівняно невелику живучість суміші, а отже, скоротити цикл виготовлення екзотермічних оболонок.

Приготування ХТЕС у змішувачах періодичної дії здійснюється таким чином. У змішувач спочатку завантажувалися сухі компоненти і перемішуються протягом 1,5...2 хвилин. Потім у суміш вводиться затверджувач і перемішування триває протягом 1,0...1,5 хвилин, після цього вводиться сполучна речовина з подальшим перемішуванням протягом 40...45 секунд, після чого готову суміш вивантажують зі змішувача.

4) Заповнення оснащення сумішшю та її ущільнення. У міру засипання суміші в оснащення проводять установку каркасів або гачків (при виготовленні великих оболонок діаметром понад 300 мм для їх подальшого транспортування). Після заповнення приблизно 2/3 об'єму робочої порожнини для ущільнення суміші може застосовуватися короткочасна вібрація (5...7 секунд). У місцях піднутринь і бічних порожнин суміш ущільнюється вручну. Після заповнення оснащення верхні шари суміші також підущільнюють вручну. За відсутності вібрації суміш у міру заповнення ящика ущільнюється вручну.

5) Витримка оболонок у ящиках. Оболонки витримуються в оснащенні до набору сумішшю маніпуляторної міцності. Тривалість витримки залежить від живучості суміші. ХТЕС набирає маніпуляторну міцність за час, що в 2...3 рази перевищує живучість.

Живучість ХТЕС на рідкому склі регулюють підбором марки затверджувача певної активності, За необхідності живучість можна регулювати зміною модуля рідкого скла. Рекомендований модуль рідкого скла становить 2,5...2,6.

					<i>КНУ.РМ.136.24.544с-03.04.ВПВТВВХТЕС</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Загальні висновки

1. У результаті проведених досліджень розроблено нові холоднотверднучі екзотермічні суміші на основі неорганічних і органічних сполучних, що виключають теплове сушіння і різко скорочують цикл одержання екзотермічних виробів до кількох годин, для обігріву прибитків виливків із чорних сплавів. Як неорганічну сполучну речовину обрано рідке скло, а як затверджувальний рідкий затверджувач використано складноефірні затверджувачі на основі ацетатів етиленгліколю.

Для отримання ХТЕС на органічній основі використано нові малотоксичні лужні фенолформальдегідні смоли, що затверджуються комплексними затверджувачами, які складаються з декількох складних ефірів.

2. На основі вивчення та аналізу літературних публікацій для розробки нових екзосумішей обрано відомі складові: алюмінієвий порошок, залізна окалина, калієва селітра, кріоліт, зв'язувальні речовини та різні відомі й нові наповнювачі. Перераховані складові екзотермічних сумішей належать до п'яти груп компонентів: а) окислювані (або горючі), б) окислювачі, в) каталізатори, г) сполучні, д) наповнювачі.

3. Встановлено, що якість ХТЕС з погляду технологічних і фізико-механічних властивостей досить повно характеризується живучістю і кінетикою твердіння екзосумішей.

Під час розроблення нових ХТЕС за основу було взято характеристики, властиві відомим екзотермічним сумішам після теплового сушіння: щонайменше 0,6 МПа через 3 години тверднення і щонайменше 1,5 МПа через добу.

4. Розроблені нові ХТЕС мають високі характеристики міцності, легкість затвердіння новими ефективними нетоксичними реагентами, що виключають теплову сушку виробів і скорочують цикл їх виготовлення. Кожен різновид розроблених ХТЕС може мати самостійну сферу застосування залежно від умов виробництва.

5. Вивчено механізм впливу кожного компонента ХТЕС на технологічні, міцнісні та теплофізичні властивості, дано теоретичне обґрунтування механізму дії та практичні рекомендації щодо стабілізації властивостей ХТЕС. Вивчено велику кількість різних вогнетривких легко вагових матеріалів, що вводяться в ХТЕС для зниження густини з метою підвищення ефективності їх застосування.

					<b>КНУ РМ 136-24-544с-03-3В</b>			
Зм.	6.	Досліджували вплив	різних компонентів у складі	розроблених ХТЕС з				
Розроб.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	різних компонентів у складі розроблених ХТЕС з			
Перевір.	Призначено	встановлено, що з усіх компонентів найсильніший вплив на міцнісні			Лист	Лист	Лист	Лист
Реценз.	Завдання	встановлено, що з усіх компонентів найсильніший вплив на міцнісні			Загальні висновки			
Н. Контр.	Скідін І.Е.	встановлено, що з усіх компонентів найсильніший вплив на міцнісні			Загальні висновки			
Затверд.	Савельєв С.Г.	встановлено, що з усіх компонентів найсильніший вплив на міцнісні			Загальні висновки			
					каф. МЧМЛВ група ЛВ-23-1м			

композиція на лужній смолі перевершує рідкоскляну. Задані показники міцності досягаються за меншого вмісту композиції (~ в 1,5 ... 2 рази) порівняно з рідинно-скляною ХТЕС, не враховуючи інших важливих переваг: легкої вибиваємості, високої пластичності.

Помітно скорочує живучість рідкоскляних ХТЕС тільки криоліт. Регулювання і стабілізація живучості в таких випадках може легко здійснюватися відповідним вибором марки затверджувача або зміною модуля рідкого скла.

На теплофізичні властивості ХТЕС сполучні композиції на рідкому склі та на лужній смолі не чинять істотного впливу.

7. Дослідженосклади ХТЕС з легковаговими наповнювачами на основі рідинноскляного зв'язувального, а також лужної фенолформаль-дегідної смоли, що дають змогу надати екзосумішам не лише екзотермічних, а й теплоізоляційних властивостей, знизивши, зокрема, витрату початкових матеріалів на їхнє одержання.

Запропоновано як найефективніші легковагі матеріали використовувати алюмосилікатну мікросферу, що дає змогу знизити густину екзотермічних сумішей з 1600... 1700 кг/м до 1130...1150 кг/м і надати екзотермічним сумішам не тільки екзотермічні, а й теплоізоляційні властивості.

*КНУ.РМ.136.24.544с-03.3В*

