

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Баранова Анна Андріївна

УДК 666.913

**ОТРИМАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ГПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО
У ТУРБУЛЕНТНОМУ ПОТОЦІ ПРИ ПІДВИЩЕНОМУ ТИСКУ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертація є рукописом.

Роботу виконано в Харківській національній академії міського господарства Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор **Кондращенко Олена Володимирівна**, Харківська національна академія міського господарства, професор кафедри технології будівельного виробництва та будівельних матеріалів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Саницький Мирослав Андрійович**, Національний університет “Львівська політехніка”, Інститут будівництва та інженерії довкілля, завідувач кафедри автомобільних шляхів;
кандидат технічних наук, **Корогодська Алла Миколаївна**, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей.

Захист відбудеться “24” червня 2010 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “22” травня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради к.т.н., доц.
Ватуля

Г.Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасне будівництво потребує ефективних та дешевих будівельних матеріалів. Технології з їх виготовлення не повинні бути енерговитратними, а сировина має бути доступною. Не менш актуальним є виробництво екологічних та пожежобезпечних будівельних матеріалів.

Всім цим вимогам відповідають гіпсові в'язучі матеріали. Це обумовлено широкою розповсюдженістю природної гіпсової сировини і гіпсовмістких відходів, простотою і екологічністю виробництва гіпсових в'язучих і виробів на їх основі. Крім того гіпс не токсичний, при його переробці не виділяється CO₂, а отримані з нього в'язучі, на відміну від цементу і вапна, не є алергенами. Гіпс відрізняється підвищеною пожежобезпечністю, малою тепло- і звукопровідністю, що позитивно впливає на комфортність приміщень в будівлях різного призначення. Але існуючі способи виготовлення гіпсових в'язучих або не забезпечують необхідної якості гіпсу, або характеризуються високими енерговитратами.

Найбільш перспективним видом гіпсових в'язучих є так званий високоміцний гіпс α -форми, структура якого надає йому більш високу міцність і щільність. Традиційно α -гіпс одержують в герметичних апаратах, що працюють під тиском, або в апаратах для дегідратації дигідрату сульфату кальцію в розчинах солей. Процес отримання α -форми сульфату кальцію проходить при температурі 120 – 150 °С і тиску приблизно 0,13 МПа, що необхідне для виділення води з кристалічної решітки двоводного гіпсу в рідкокрапельному стані без різкого переходу в пару. При цьому структура напівводного гіпсу залишається міцною та щільною. Головним недоліком цих способів є велика витрата палива та електроенергії при низькій продуктивності випалювального устаткування, що викликано термообробкою крупного щебеню гіпсового каменя (до 80 мм). Щоб зробити виробництво α -гіпсу більш ефективним, потрібно модернізувати технологію його виготовлення.

Подальший розвиток технології виробництва гіпсових в'язучих повинен бути заснований в першу чергу на інтенсифікації теплових процесів і вдосконаленні теплотехнічного устаткування, що працює на нових науково обґрунтованих режимах випалу. Тому розробка способу виробництва високоміцного гіпсового в'язучого, який забезпечить отримання високоякісного продукту випалу при високій продуктивності устаткування і низьких витратах енергії є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі технології будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківської національної академії міського господарства в рамках держбюджетної науково-дослідної тематики

«Вдосконалення технології бетону і залізобетону» згідно Закону України від 11.06.2001 р. № 2623-III «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» напрямок № 6 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі». У рамках договору про науково-технічну співдружність від 23 квітня 2007 р. між Харківською національною академією міського господарства і Українською інженерно - педагогічною академією були виконані роботи по науково-технічній розробці сучасного способу випалу гіпсу.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є отримання α -форми гіпсового в'язучого високої міцності та однорідності шляхом швидкісного випалу гіпсової сировини в турбулентному потоці теплоносія при підвищеному тиску, дослідження процесів структуроутворення та будівельно-тех-нічних властивостей.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити ряд завдань:

- встановити залежності між температурними полями і хімічним складом гіпсу в процесі його термообробки в конусоподібному реакторі випалу в турбулентному потоці теплоносія;
- дослідити вплив температури і тиску на структуру обпалюваного матеріалу в конусоподібному реакторі;
- розробити технологічні прийоми для забезпечення однорідності хімічного складу обпаленого матеріалу;
- розробити математичні моделі тепломасопереносу при нагріві частинок гіпсу і стабілізації їх хімічного складу;
- розробити спосіб виробництва α -гіпсу з оптимальними умовами термообробки;
- обґрунтувати параметри технологічного устаткування для виробництва гіпсу;
- визначити модифікаційний склад гіпсу, одержаного за розробленим способом;
- виконати практичну апробацію розробленого способу виробництва високоміцного гіпсового в'язучого та визначити техніко-економічну ефективність його виробництва.

Об'єкт дослідження – процес дегідратації при отриманні α -форми гіпсового в'язучого підвищеної міцності та однорідності.

Предмет дослідження – високоміцний гіпс, що отриманий у турбулентному потоці теплоносія при підвищеному тиску.

Методи дослідження. Фізико-механічні властивості гіпсу визначалися стандартними методами. Фазовий склад продуктів дегідратації та гідратації сульфатів кальцію оцінювали за допомогою фізико-хімічних методів дослідження: диференційно-термічного, термогравіметричного, рентгенофазово-го аналізів, методами електронної мікроскопії та інфрачервоної спектроскопії.

Диференційні рівняння використовувались для вирішення задач термообробки і перерозподілу температури в частинках обпаленого матеріалу. Методи планування експерименту і статистичні методи застосовувались для обробки експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше отримано α -форму гіпсового в'язучого високої міцності та однорідності за двостадійною технологією шляхом теплової обробки дрібнодисперсного гіпсового каменя у турбулентному потоці газоподібного теплоносія на першому етапі та вирівнювання поля температури й хімічного складу частинок гіпсу у камері томління на другому етапі;

- вперше досліджена зміна модифікаційного складу гіпсу в конусоподібному реакторі при підвищеному тиску з утворенням багатофазної структури матеріалу, яка в подальшому забезпечує одержання α -форми гіпсового в'язучого, та встановлено раціональні розміри обпалюваних частинок гіпсової сировини, час перебування і температура їх теплової обробки;

- подальший розвиток отримали наукові основи забезпечення однорідності продукту випалу шляхом застосування камери томління на другому етапі, та розроблено математичні моделі вирівнювання поля температури і модифікаційного складу обпаленого гіпсу;

- вперше запропоновані умови одержання однорідної структури α -форми гіпсового в'язучого шляхом гідратації розчинного ангідриду та дегідратації залишкового двоводного гіпсу в камері томління за рахунок перерозподілу температури в частинках обпаленого матеріалу.

Практичне значення отриманих результатів. На базі результатів теоретичних і експериментальних досліджень розроблена високопродуктивна установка для виробництва гіпсу високої міцності і однорідності. Результати дисертаційної роботи були впроваджені в УПА, де була змонтована дослідно-промислова установка для випалу гіпсу відповідно до договору. Одержано високоміцне гіпсове в'язуче α -форми, дослідна партія якого пройшла незалежні сертифікаційні випробування у випробувальній лабораторії натурних обстежень Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури (Атестат акредитації №UA 6.002.T613) з отриманням всіх технологічних властивостей, які відповідають ДСТУ Б В. 2.7-82-99 «В'язучі гіпсові. Технічні умови». За договором про науково-технічну співпрацю від 28.09.2009 р. між ХНАМГ і ТОВ «Декор» Росія ведуться роботи по впровадженню розробленої технології у виробництво. Результати роботи використано в навчальному процесі студентів ХНАМГ.

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні експериментальних досліджень, обробленні отриманих результатів, впровадженні результатів роботи у виробництво, формулюванні основних положень і висновків.

Основні результати одержані здобувачем самостійно:

- розроблено спосіб отримання α -форми гіпсового в'язучого, в якому реалізується зміна модифікаційного складу гіпсу на першій та другій стадіях його теплової обробки;
- отримані залежності зміни температури і відповідно хімічного складу гіпсу в реакторі випалу та камері томління;
- обґрунтовані параметри конусоподібного реактора для реалізації першого етапу термообробки гіпсу в турбулентному двофазному потоці;
- розроблені теоретичні основи створення реактора для другого етапу термообробки гіпсу (камери томління) для забезпечення однорідності хімічного складу α -форми гіпсового в'язучого;
- розроблені математичні моделі руху частинок гіпсу в окремих елементах устаткування для термообробки з метою отримання α -форми гіпсового в'язучого.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи викладено та обговорено безпосередньо здобувачем на науково-технічних конференціях різного рівня (2006-2009 рр.): XXXIII науково-технічній конференції викладачів, аспірантів і співробітників Харківської національної академії міського господарства «Строительство, архитектура, экология» (Харків, 2006); III міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасних наук: теорія і практика – 2006» (Дніпропетровськ, 2006); Всеросійській науково-практичній конференції «Строительное материаловедение – теория и практика» (Москва, 2006); II міжнародній науково-технічній інтернет - конференції «Будівництво, реконструкція та відновлення будівель міського господарства» (Харків, 2007); 46-му міжнародному семінарі по моделюванню та оптимізації композитів «Моделирование в компьютерном материаловедении - МОК 46» (Одеса, 2007); міжнародній науково-технічній конференції «Створення й експлуатація нових машин та обладнання для виробництва будівельних матеріалів і конструкцій» (Полтава, 2008); X Міжнародній науково-технічній конференції Асоціації спеціалістів промислової гідравліки і пневматики «Промислова гідравліка і пневматика» (Львів, 2009); Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Розроблення та впровадження у будівельне виробництво нових машин та обладнання для приготування та транспортування по трубопроводах будівельних розчинів» (Полтава, 2009).

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи розкриті в 6 наукових статтях, опублікованих у виданнях, які входять до переліку ВАК України і 3 тезах доповідей на науково-технічних конференціях, одержано 1 патент України.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, 11 додатків і містить 159 сторінок тексту, основного тексту – 117 сторінок, 58 рисунків, 14 таблиць, бібліографічний список із 150 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання досліджень, визначено об'єкт і предмет досліджень, вказано наукову новизну й практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі наведено аналітичний аналіз даних по питанням, присвяченим виробництву гіпсових в'язучих, з метою пошуку оптимальних умов для отримання якісного продукту випалу при низьких енерговитратах.

Проведено аналіз робіт з питань покращення фізико-механічних властивостей напівводного гіпсу – Бабушкіна В.І., Боженова П.І., Буднікова П.П., Волженського А.В., Гордашевського П.Ф., Передерія І.А., Саницького М.А., Ферронської А.В., Фішера Х.-Б., Вінніченко В.І., Казімагомєдова І.Е. та ін.

Наведено результати теоретичних досліджень процесів дегідратації та гідратації гіпсу. Традиційно будівельний гіпс отримують шляхом теплової обробки природного гіпсу із подальшим помелом його до порошкоподібного стану. Способи виробництва гіпсового в'язучого в гіпсоварочних котлах, обертових печах, в яких ведуть некеровану, нерівномірну теплову обробку (випал) гіпсового каменя при необґрунтовано високій температурі, приводять до отримання гіпсу низької якості. Температурний режим випалу в таких установках важко піддається регулюванню. Наслідком подібної нерівномірної теплової обробки є присутність в обпаленому гіпсі зневодненої форми – ангідриту (CaSO_4) і частково - дигідрату сульфату кальцію ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), який не був дегідратованим. Якщо при випалі вода видаляється у вигляді пари з частинок сировинного дигідрату сульфату кальцію, то відбувається руйнування великої кількості кристалів і структура кристалічних решіток руйнується. Отже, гіпс буде мати низьку якість з підвищеною водопотребою, і як наслідок - невисоку міцність каменя після його твердіння.

Відомо, що для отримання якісного гіпсу необхідно проводити процес випалу так, щоб частинки напівводного сульфату кальцію зберігали високу щільність і не руйнувались парами води, що видаляються. Виходячи з цього, необхідною умовою отримання міцного продукту є видалення води з кристалічної структури в рідкокрапельному стані. Це стає можливим при отриманні гіпсу в закритих системах, що працюють під тиском. Проте, існуючі подібні технології мають ряд недоліків: по-перше - низьку продуктивність, по-друге, процес випалу є тривалим і складає 8 – 15 годин. Це обумовлено тим, що при скиданні тиску в апаратах такого типу після дегідратації відбувається «температурний провал». Охолодження матеріалу приводить до виникнення 15 % «вторинного» дигідрату сульфату кальцію на поверхні частинок внаслідок взаємодії напівгідрату з рідкокрапельною водою, що залишилася в порах обробленого гіпсового щебеню. Відомо, що зменшення лінійних розмірів частинок в 100 разів приведе до збільшення питомої поверхні також у

100 разів, звідси вторинного дигідрату буде в 100 разів більше при однаковій його товщині на поверхні частинок. Внаслідок чого різко знижується міцність одержаного гіпсу. Тому сировинний гіпсовий щебінь повинен бути крупним з метою зниження його питомої поверхні. Проте теплова обробка крупних частинок приводить до вище вказаних недоліків.

Аналіз існуючих способів отримання гіпсу дає підставу сформулювати наукову гіпотезу отримання високоміцного гіпсового в'язучого в турбулентному потоці газоподібного теплоносія при підвищеному тиску на базі двостадійної теплової обробки дрібнодисперсної сировини. На першій стадії внаслідок термічної обробки матеріал має багатофазну структуру. На другій стадії теплової обробки за рахунок дегідратації залишкового дигідрату і гідратації розчинного ангідриту утворюється напівводний гіпс.

У заключній частині аналітичного огляду способів отримання гіпсових в'язучих сформульовано мету дисертаційної роботи, визначені завдання, які необхідно вирішити в ході її виконання.

У другому розділі подані характеристики матеріалів і методи досліджень, які були використані в дисертаційній роботі.

Фізико-механічні випробування одержаного матеріалу проводились за стандартними методиками згідно вимогам ДСТУ Б В. 2.7-82-99 «В'язучі гіпсові. Технічні умови».

Фізико-хімічні дослідження складу гіпсу проводили за допомогою інфрачервоної спектрометрії, рентгенофазового, диференційно-термічного, термогравіметричного та електронномікроскопічного аналізів.

Математичні моделі розподілу тепла в частинці гіпсу під час випалу і теплової обробці в камері томління були одержані в результаті рішення диференціальних рівнянь другого порядку в часткових похідних параболічного типу. Для пошуку оптимальних умов проведення процесу випалу були використані методи статистичної обробки результатів експерименту. При проведенні експериментальних досліджень були реалізовані центральні ортогональні композиційні плани. Перевірка однорідності дисперсії і повноти чинників проводилася за критерієм Кохрена, адекватність рівнянь регресії – за F-критерієм Фішера.

У третьому розділі подані теоретичні дослідження процесів термічної обробки двоводного гіпсу за двостадійною технологією.

Для інтенсифікації теплової обробки гіпсу необхідно проводити випал дрібнодисперсної сировини та створити умови для запобігання утворенню вторинного двоводного гіпсу. Тому на першій стадії теплової обробки проводиться випал дрібнодисперсного матеріалу в турбулентному потоці газоподібного теплоносія. При цьому необхідно враховувати термодинамічні умови дегідратації двоводного гіпсу (температуру випалу й тиск) з метою видалення води в рідкокрапельному стані. Швидкість потоку теплоносія повинна відповідати розмірам частинок сировини.

При тепловій обробці двоводного гіпсу спостерігається нерівномірний розподіл температури та хімічного складу в кожній окремо взятій частинці матеріалу. Для забезпечення однорідності хімічного складу і вирівнювання температурного поля по всьому об'єму частинки обпаленого гіпсу слід реалізувати другу стадію теплової обробки, яка проводиться в камері томління. Для реалізації вище наведених теоретичних передумов була розроблена двостадійна технологія теплової обробки гіпсової сировини, що представлена на рис. 1.

Відповідно до наведеної технологічної схеми, сировинний гіпсовий щєбінь подається у тарільчато-валковий млин, оснащений вбудованим класифікатором 1, де він подрібнюється до частинок розміром 0,3 – 1 мм. За допомогою вторинного тепла частинки висушуються і нагріваються до температури 85 - 95 °С. Потім сировинний гіпс поступає в циклон 2, де відбувається розділення твердої і газоподібної фаз, після чого тверда фаза через шлюзовий затвор потрапляє в накопичувач матеріалу 4. Високотемпературні гази, які виходять з нагрівача 6, подаються промисловим вентилятором 7 під тиском. Одночасно з накопичувача матеріалу 4 сировина через дозатор 3 безперервно подається разом з теплоносієм в змішувач 8 твердої і газоподібної фаз. Звідти двофазна суміш поступає під тиском $P \approx 0,13 - 0,15$ МПа і температурі $T \approx 250 - 400$ °С в конусоподібний реактор 9, де відбувається випал. Потім матеріал виноситься повітряним потоком в циклон-осаджувач 10, звідки потрапляє в камеру томління 11, після якої готовий матеріал поступає в приймач продукції 12. Вторинне тепло з циклону-осаджувача 10 повертається в тарільчато-валковий млин 1 для сушки і нагріву сировини. У коліні для циркуляції теплоносія встановлений вентилятор 7'. На запропонований спосіб випалу гіпсу одержано патент України № 31289.

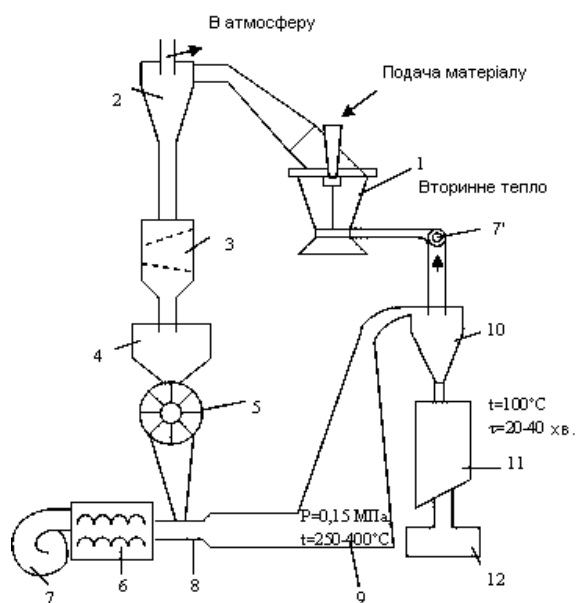


Рис. 1. Технологічна схема двостадійного випалу гіпсу в турбулентному потоці теплоносія:

1 – тарільчато-валковий млин; 2 – циклон; 3 – дозатор; 4 – накопичувач матеріалу; 5 – живильник; 6 – нагрівач; 7, 7' – вентилятор; 8 – змішувач твердої і газоподібної фаз; 9 – конусоподібний реактор; 10 – циклон – осаджувач; 11 – камера томління; 12 – приймач продукції

Для підвищення тиску зазвичай встановлюють різного виду місцеві опори, наприклад, діафрагми або вентиля, але це приводить до утворення відкладень сировинного гіпсу і втрати працездатності устаткування. Тому було запропоновано виконати реактор випалу у формі конуса. Конусоподібна форма реактора дозволяє не тільки забезпечити дегідратацію гіпсу при підвищеному тиску (тобто одержати α -форму), а й запобігти перепалу матеріалу. Тиск в конусоподібному реакторі створюється за рахунок різних діаметрів основ на вході і на виході з реактора для двофазного потоку. Турбулентний двофазний потік складається із вихорів різних діаметрів, які несуть тверду фазу. Вихорі рухаються як вздовж потоку, так і поперек. Тому частинки мають дві складові швидкості: осереднену, яка направлена вздовж потоку, та пульсаційну, що має змінний напрямок руху. При попаданні частинки або руйнуванні вихорів на стінці конуса, матеріал потрапляє в турбулентний потік, і частинки, залежно від розміру, потрапляють в різні температурні зони. Дрібні частинки підхоплюються гарячим потоком і виносяться, а не зісковзують уздовж стінки, як це відбувається у разі циліндричної форми реактора, тому не спостерігається їх перепалу. Частинки середнього розміру перебувають в реакторі довше, що відповідає оптимальному режиму випалу. Найтривалішій тепловій обробці підлягають крупні частинки за рахунок малої швидкості їх руху, оскільки швидкість теплоносія в деяких зонах не набагато перевищує швидкість витання частинок.

Втрата тиску (P) на подолання місцевих опорів при проходженні потоку через конусоподібний реактор буде дорівнювати:

$$P = \zeta \frac{V_{n.n.}^2}{2g} \cdot \rho_n \left(1 + \frac{k_1}{C} \right), \quad (1)$$

де: ζ – коефіцієнт місцевого опору, який залежить від форми реактора; $V_{n.n.}$ – середня швидкість руху повітря, м/с; ρ_n – густина повітря, кг/м³; k_1 – дослідний коефіцієнт опору руху; C – масова концентрація повітря в потоці.

Для забезпечення заданого в термодинамічних розрахунках значення тиску P , вибираються відповідні параметри реактора. Осереднена швидкість теплоносія в перетині реактора на висоті x від входу в реактор $U(x)$ (вона ж вертикальна швидкість обтікання вихорів) буде дорівнювати:

$$U(x) = \frac{4Q_m}{\pi \left[D_{p6} + \frac{4(H_{реакт} - x)(D_{pn} - D_{p6})}{H_{реакт}} \right]^2}, \quad (2)$$

де: $D_{рн}$ - діаметр реактора на вході (м); $D_{рв}$ - діаметр реактора на виході (м); $H_{реакт}$ - загальна висота реактора (м); Q_T - витрата теплоносія ($м^3/с$).

Горизонтальна швидкість обтікання вихорів вираховується за рівнянням $V(x) = 0,81U(x)$. Враховуючи, що швидкість руху частинок менше швидкості руху теплоносія на величину швидкості витання, необхідно створити умови транспортування частинок теплоносієм, причому час перебування частинки в потоці повинен відповідати режиму випалу. Час перебування частинки в обпалювальному реакторі $\tau_{вип}$ дорівнює:

$$\tau_{вип} = H^2 \left\{ \int_0^H \frac{4Q_m}{\pi \left[D_{рв} + \frac{4(H_{реакт} - x)(D_{рн} - D_{рв})}{H_{реакт}} \right]^2 - v_{вип}} dx \right\}^{-1} \quad (3)$$

Необхідний час перебування частинки в обпалювальному реакторі $\tau_{вип}$ і температура теплоносія визначаються в результаті моделювання процесу випалу.

При тепловій обробці гіпсової сировини створені умови для отримання максимальної однорідності складу напівводного гіпсу по всьому об'єму частинки. Для цього була розроблена модель на прикладі окремої частинки гіпсу і виділені три зони: на поверхні частинки радіусом R утворюється шар безводної форми гіпсу (розчинний ангідрит) товщиною від R до R_2 , потім шар напівводного гіпсу від R_2 до R_1 , а центральна частина зерна представлена початковим двоводним гіпсом радіусом R_1 . Об'єм зони розчинного ангідриту повинен перевищувати у три рази об'єм зони двоводного гіпсу. Модель багатофазної структури частинки наведена на рис. 2.

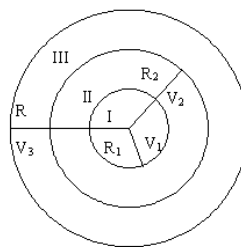


Рис. 2. Модель багатофазної структури частинки гіпсу після випалу в конусоподібному реакторі

Відповідно до наведеної моделі стає очевидним, що для досягнення хімічної однорідності потрібно, щоб вода, яка виділяється в процесі дегідратації в результаті дифузії з середини частинки потрапляла до зовнішнього шару і вступала в реакцію з розчинним ангідритом з утворенням напівводної форми сульфату кальцію. Це стає можливим у разі перерозподілу температури в частинках, для чого в розробленій схемі передбачено другий етап – перебування обпаленого гіпсу в камері томління.

В інтервалі температур від 115 °С до 210 °С одержується напівводний гіпс, при зміні температур від 210 °С до 350 °С – α -розчинний ангідрит. Тому в зоні I температура повинна бути нижчою 115 °С, в зоні II – 115 – 210 °С, а в зоні III – 210 – 350 °С. На підставі теоретичних досліджень та розрахунків, а також шляхом експериментального визначення модифікаційного складу обпаленого гіпсу в конусоподібному реакторі була побудована залежність розподілу температури при різних співвідношеннях фаз в частинках матеріалу. На рис. 3 наведено графік розподілу температури всередині частинок при різних значеннях R_1 і R_2 , загальний радіус частинки приймаємо за одиницю.

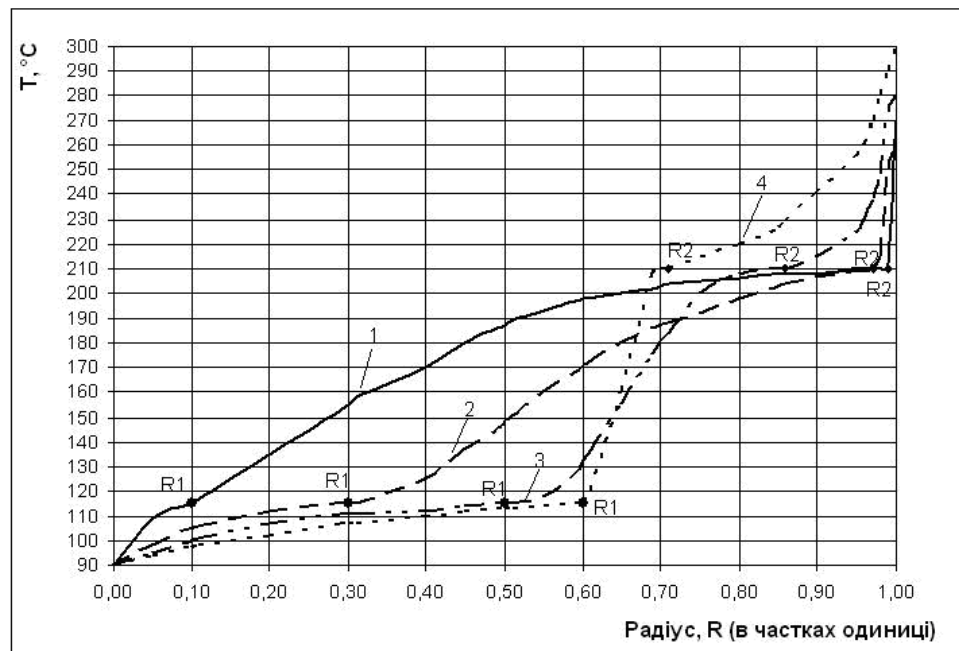


Рис. 3. Залежності розподілу температури при різних співвідношеннях фаз в частинках обпаленого гіпсу:

1 – $R_1 = 0,1$, $R_2 = 0,999$; 2 – $R_1 = 0,3$, $R_2 = 0,97$; 3 – $R_1 = 0,5$, $R_2 = 0,855$; 4 – $R_1 = 0,6$, $R_2 = 0,71$

Частинки різного діаметру знаходяться в конусоподібному реакторі протягом різного часу. Час знаходження частинки залежить від висоти реактора, швидкості теплоносія і її швидкості витання. Швидкість руху частинки дорівнює різниці швидкості потоку теплоносія і швидкості витання. Тому розподіл температури в частинці залежить від її розміру і режиму теплообробки. Аналіз рис. 3 показує однаковий якісний характер розподілу температури усередині частинки. Зростання температури в інтервалі 110 – 115 °С спостерігається при зміні радіусу частинки від 0 до R_1 . Навколо позначки R_1 уповільнюється зростання температури через фазові перетворення двоводного гіпсу в напівводний. Потім відбувається рівномірне зростання температури до R_2 , що відповідає температурному інтервалу 200 – 210 °С фазового перетворення напівводного гіпсу в розчинний ангідрит. При значенні від R_2 і більше спостерігається зростання температури до 230 – 300 °С. Криві 1 і 2 (рис. 3) характерні для процесу нагрівання дрібних частинок, які знаходяться нетривалий час в конусоподібному реакторі. Криві 3 і 4

характерні для процесу нагрівання крупних частинок, які перебувають більш тривалий час на першій стадії термообробки. При дотриманні співвідношень між R_1 і R_2 буде забезпечено вирівнювання хімічного складу обпаленого гіпсу в камері томління і утворено напівводний гіпс. З цією метою розроблені математичні моделі нагрівання частинки в конусоподібному реакторі і терміну її перебування в камері томління.

Математична модель нагріву частинки гіпсу в конусоподібному реакторі випалу одержана в результаті рішення рівняння теплопровідності шляхом використання методу Фур'є, за умови, що частинки гіпсу мають форму сфери з радіусом r_0 , їх початкова температура - T_0 і температура теплоносія на поверхні частинки - T_1 .

Розподіл температури в сфері $T(r,t)$ у момент часу t складає:

$$T(r,t) = T_1 + 2 \frac{r_0}{\pi} (T_0 - T_1) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \cdot e^{-\left(\frac{n\pi a}{r_0}\right)^2 t} \cdot \frac{\sin \frac{n\pi r}{r_0}}{r}, \quad (4)$$

де: a^2 - коефіцієнт температуропровідності ($a^2 = \lambda/c \cdot \rho$); λ - коефіцієнт теплопровідності; c - питома теплоємність гіпсу; ρ - густина гіпсу.

Рівняння дозволяє, при заданій температурі в центрі частинки $T_r = 0$ і часу її перебування в зоні випалу t , визначити найбільший розмір обпалюваних частинок $r_{0 \max}$. Допустиме значення чинників приймаємо з умови повноти дегідратації двуводного гіпсу $T_r = 0 = 378 - 380 \text{ K}$ ($105 - 107 \text{ }^\circ\text{C}$) і тривалості випалу частинок $t \leq 0,3 \text{ с}$. Як видно з рис. 4, діаметр обпалюваних частинок не повинен перевищувати 1 - 1,4 мм.

З метою визначення необхідного терміну перебування гіпсу в камері томління була розроблена математична модель залежності температури в частинках від часу та їх розмірів. Необхідно враховувати, що для кожної модифікації гіпсу (розчинного ангідриту, напівводного і двуводного гіпсу) існують різні значення питомої теплоємності, густини і коефіцієнта теплопровідності, причому ці характеристики залежать ще і від температури. Тому моделювання здійснювалося пошарово, причому результати розрахунку для i -того шару використовувалися в постановці крайової задачі для наступного $(i+1)$ шару.

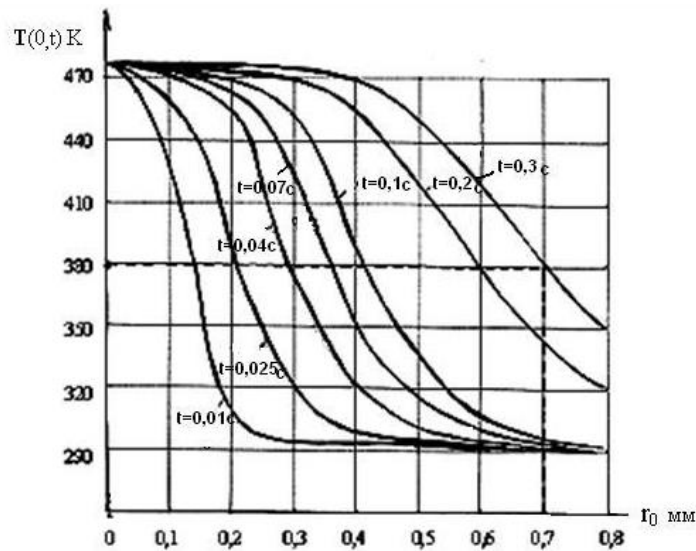


Рис. 4. Вплив діаметру частинок гіпсу і часу їх перебування в потоці теплоносія на температуру частинок

Модель вирівнювання температурного поля в частинці гіпсу при її перебуванні в камері томління будувалася як суперпозиція трьох задач. Перша задача – нагрівання, що продовжується, і дегідратація сфероподібної зони радіусом R_1 в центрі частинки для двоводного гіпсу (з переходом його в напівводний). Ця задача розв'язується аналогічно рішенню задачі нагрівання в реакторі, тільки за інших крайових і початкових умов. Друга задача – охолодження зовнішнього шару безводного гіпсу (ангідриду) і насичення його молекулами води з утворенням напівводного гіпсу. Третя задача – охолодження шару напівводного гіпсу.

Друга і третя задачі розв'язуються на базі крайової задачі в сферичних координатах про охолодження сфери радіусом r_0 , на поверхні якої підтримується задана температура.

Початкова температура сфери дорівнює:

$$u|_{t=0} = f(r, \theta, \varphi), \quad 0 \leq r < r_0, \quad 0 \leq \theta \leq \pi, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi.$$

Рішення крайової задачі в загальному вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial u}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} \right), \quad (5)$$

$$\left[\frac{\partial u}{\partial r} + hu \right]_{r=r_0} = t_0, \quad u|_{t=0} = f(r, \theta, \varphi), \quad \epsilon:$$

$$u(r, \theta, \varphi, t) = \sum_{m,n=0}^{+\infty} \sum_{k=0}^n e^{-\left(\frac{a\mu_m^{(n)}}{r_0}\right)^2 t} \frac{J_{n+\frac{1}{2}}\left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0}\right)}{\sqrt{r}} P_{n,k}(\cos \theta) \{A_{m,n,k} \cos k\varphi + B_{m,n,k} \sin k\varphi\}, \quad (6)$$

де $\mu_m^{(n)}$ - позитивні корені рівняння.

$$\mu_m^{(n)} J_{n+\frac{1}{2}}(\mu_m^{(n)}) + \left(r_0 h - \frac{1}{2}\right) J_{n+\frac{1}{2}}(\mu_m^{(n)}) = 0,$$

$$A_{m,n,k} = \frac{\int_0^{r_0} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(r, \theta, \varphi) r^{\frac{3}{2}} J_{n+\frac{1}{2}}\left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0}\right) \sin \theta P_{n,k}(\cos \theta) \cos k \varphi dr d\theta d\varphi}{\varepsilon_k \frac{\pi r_0^2 (n+k)!}{(2n+1)(n-k)!} \left[1 + \frac{(r_0 h + n)(r_0 h - n - 1)}{(\mu_m^{(n)})^2}\right] J_{n+\frac{1}{2}}^2(\mu_m^{(n)})},$$

$$\varepsilon_k = \begin{cases} 2 & n p u k = 0 \\ 1 & n p u k \neq 0 \end{cases},$$

$$B_{m,n,k} = \frac{\int_0^{r_0} \int_0^\pi \int_0^{2\pi} f(r, \theta, \varphi) r^{\frac{3}{2}} J_{n+\frac{1}{2}}\left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0}\right) \sin \theta P_{n,k}(\cos \theta) \sin k \varphi dr d\theta d\varphi}{\frac{\pi r_0^2 (n+k)!}{(2n+1)(n-k)!} \left[1 + \frac{(r_0 h + n)(r_0 h - n - 1)}{(\mu_m^{(n)})^2}\right] J_{n+\frac{1}{2}}^2(\mu_m^{(n)})},$$

де $J_{n+\frac{1}{2}}\left(\frac{\mu_m^{(n)} r}{r_0}\right)$ - функції Беселя; $P_{n,k}(\cos \theta)$ - приєднані функції поліномів Лежандра.

Камера томління повинна забезпечити вирівнювання температурного поля в частинках, тобто забезпечити знаходження частинок продовж заданого часу при відповідному температурному режимі. Для цього рух матеріалу в камері томління має бути рівномірним, щоб виключити явище сегрегації, налипання частинок, ліккоутворення, тобто необхідно максимально наблизити рух матеріалу у камері томління до моделі ідеального витискання.

Для створення режиму близького до ідеального витискання розроблена камера томління у вигляді циліндра з розвантажувальною частиною, яка забезпечує рівномірний рух гіпсу, як суцільне тіло. Розвантажувальна частина складається з двох елементів. Перший елемент - кругла мембрана з максимальною кількістю отворів, розмір яких перешкоджає склепінняутворенню. Другий елемент – розвантажувальний регулювальний пристрій. Горизонтальний круглий елемент дозволяє вирівнювати епюру швидкостей частинок, які рухаються в камері томління. Необхідний діаметр отворів (d) у горизонтальному елементі залежить від параметрів сипучого матеріалу:

$$d = \frac{4\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\rho g},$$

де: τ_0 – початковий опір зсуву; φ – кут природного укосу; ρ – густина гіпсу; g – прискорення вільного падіння.

У четвертому розділі експериментально підтверджено результати теоретичних досліджень і визначені параметри устаткування для отримання якісного продукту випалу.

Параметри, які характеризують якість отриманого гіпсу:

Y_1 – відсоток введення води (від маси гіпсу) для забезпечення нормальної густини (%);

Y_2 – початок тужавлення (хв);

Y_3 – кінець тужавлення (хв);

Y_4 – границя міцності при згині (МПа);

Y_5 – границя міцності при стисканні (МПа).

Чинники, які впливають на роботу устаткування:

x_1 – тонкість помелу, що характеризується середньозваженим розміром частинок обпалюваного матеріалу (μ , мм);

x_2 – температура теплоносія на вході в реактор (T_p , К);

x_3 – кількість теплоносія (V , м³/с);

x_4 – продуктивність устаткування (G , кг/год);

x_5 – час перебування в камері томління (τ_k , хв.);

x_6 – відношення діаметрів вхідного і вихідного отворів реактора (ψ).

З аналізу проведених досліджень виявлено, що всі чинники мають великий вплив на фізико-механічні характеристики гіпсу.

Виявлення впливу вищенаведених факторів на якість випаленого гіпсу здійснювалося при використанні центрального ортогонального композиційного плану 2-го порядку. Для виключення систематичних помилок було проведено рандомізацію досліду за датчиком випадкових чисел. Однорідність дисперсії перевірялась за критерієм Кохрена, що дозволило зробити висновок про повноту чинників. Дослідження проводились при варіюванні чинників на трьох основних рівнях (верхній +1, нижній -1, нульовий 0) і двох додаткових (+*, -*). Діапазони варіювання змінними в кодованих і натуральних координатах приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Інтервали варіювання змінними

Фактори		Кодові значення					
		-1,841	-1	0	+1	+1,841	Δ
		натуральні значення					
μ , мм	x_1	0,23	0,4	0,6	0,8	0,97	0,2
T_p , К	x_2	425	500	600	700	785	100
V , м ³ /с	x_3	9,5	12	15	18	20,5	3
G , кг/Год	x_4	32	45	60	75	88	15
τ_k , хв.	x_5	16	20	25	30	34	5
ψ	x_6	1,2	2	3	4	4,8	1

В результаті обробки експериментальних даних отримані адекватні рівняння регресії залежності від вищенаведених чинників.

$$Y_1 = 42,587 + 0,879x_1 + 1,042x_2 + 1,512x_3 + 0,428x_4 - 1,221x_5 - 0,444x_6 + 2,056x_1^2 +$$

$$\begin{aligned}
& +1,894x_2^2 + 1,510x_3^2 + 1,171x_4^2 + 0,787x_5^2 + 1,112x_6^2. \\
Y_2 = & 16,516 - 0,3998x_1 - 0,547x_2 - 0,489x_3 - 0,498x_4 + 1,781x_5 + 0,208x_6 - 1,393x_1^2 \\
- & \\
& - 2,086x_2^2 - 1,747x_3^2 - 1,5996x_4^2 - 1,319x_5^2 - 0,1585x_6^2. \\
Y_3 = & 22,317 - 0,405x_1 - 0,194x_2 - 0,489x_3 - 0,498x_4 + 1,575x_5 + 0,208x_6 - 1,450x_1^2 \\
- & \\
& - 1,760x_2^2 - 1,642x_3^2 - 1,495x_4^2 - 1,067x_5^2 - 1,48x_6^2. \\
Y_4 = & 8,243 - 0,470x_1 - 0,276x_2 - 0,152x_3 - 0,139x_4 + 0,623x_5 + 0,056x_6 - 1,553x_1^2 - \\
& - 1,051x_2^2 - 0,726x_3^2 - 0,830x_4^2 - 0,505x_5^2 - 0,682x_6^2. \\
Y_5 = & 22,175 - 1,177x_1 - 0,547x_2 - 0,489x_3 - 0,498x_4 + 1,781x_5 + 0,208x_6 - 3,136x_1^2 \\
- & \\
& - 2,177x_2^2 - 1,838x_3^2 - 1,691x_4^2 - 1,410x_5^2 - 1,676x_6^2.
\end{aligned}$$

Перевірка адекватності опису поверхонь відгуку поліномом 2-го ступеня проводилася за F-критерієм Фішера.

Перетини факторного простору в центрі плану для границі міцності при згині та стисканні, тобто залежності Y_4 та Y_5 від $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$, приведені на рис. 5.

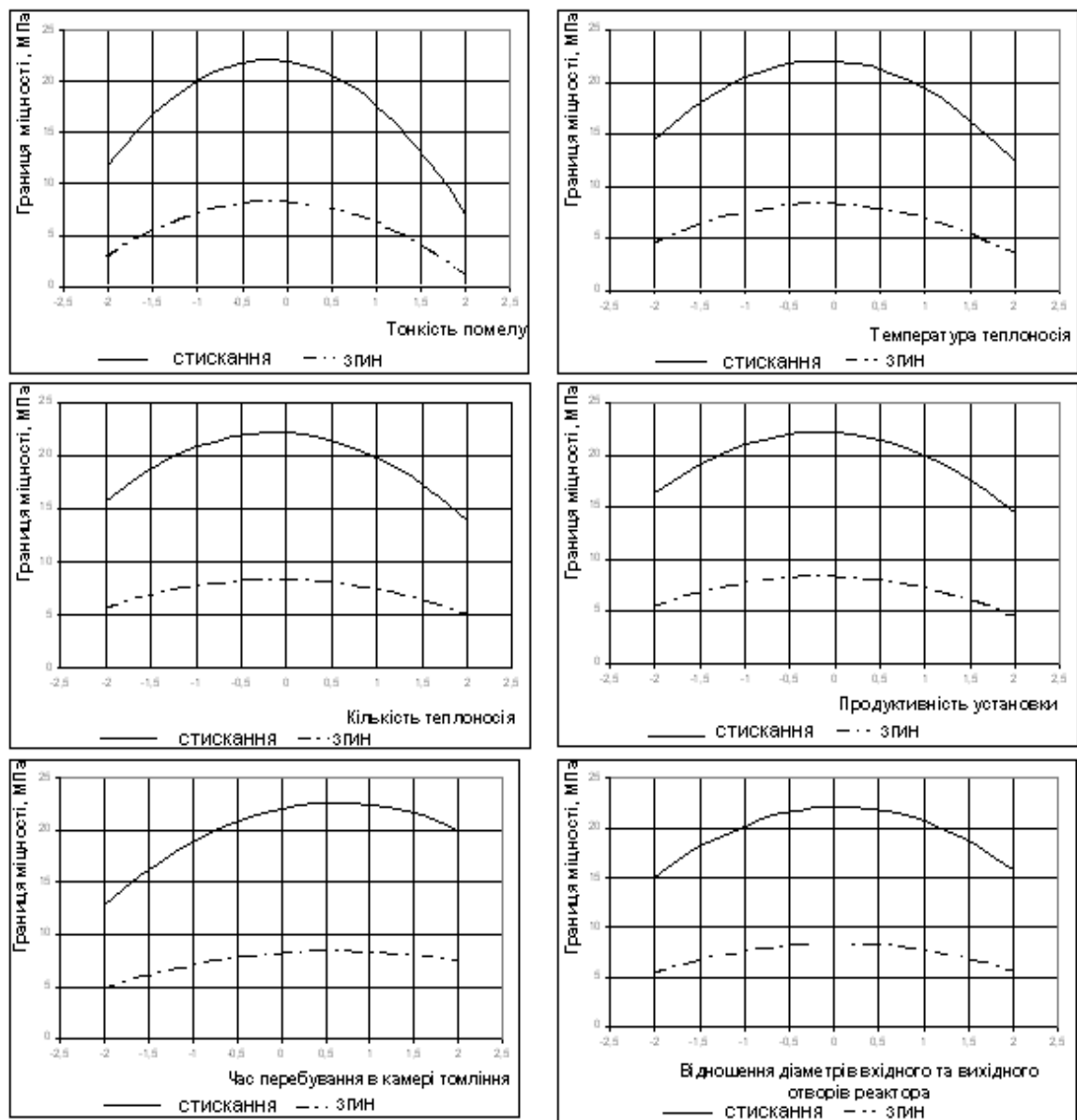


Рис. 5. Залежності границі міцності при згині та стисканні гіпсу від чинників

Аналіз одержаних залежностей дозволив виявити оптимальні величини чинників, при яких досягаються високі показники якості гіпсу:

x_1 – тонкість помелу, що характеризується середньозваженим розміром частинок обпалюваного матеріалу 0,64 мм;

x_2 – температура теплоносія на вході в реактор 580 К (310 °С);

x_3 – кількість теплоносія 0,6 м³/с;

x_4 – продуктивність установки 90 кг/год;

x_5 – час перебування в камері томління 25 хв.;

x_6 – відношення діаметрів вхідного і вихідного отворів реактора 2,2.

У п'ятому розділі наведено практичне застосування результатів роботи. Розроблена дослідно-промислова установка, параметри якої були визначені на базі теоретичних та експериментальних досліджень. На установці було одержано високоміцне гіпсове в'язуче α -форми, дослідні партії якого пройшли незалежні сертифікаційні випробування у випробувальній

лабораторії натурних обстежень Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури (Атестат акредитації №UA 6.002.Т613). Одержані результати сертифікаційних випробувань чотирьох партій гіпсового в'язучого представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Властивості одержаного гіпсового в'язучого

Властивості	Дослідні партії			
	I	II	III	IV
Залишок на ситі № 02, %	2	1	1	1
Стандартна консистенція, %	46	44	44	42
Терміни тужавлення, хв.:				
- початок	9	15	17	15
- кінець	13	23	27	19
Границя міцності при стисканні, $R_{ст}$, МПа	17,2	20,4	21,3	22,2
Границя міцності при згині, $R_{зг}$, МПа	6,5	7,1	7,4	8,1
Марка гіпсу	Г - 16	Г - 19	Г - 19	Г - 22

Також, згідно стандартним методикам, було визначено фізичні властивості отриманого гіпсу, які представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Фізичні властивості отриманого гіпсового в'язучого α -форми

Найменування	Кількісне значення
Об'ємне розширення, %	0,97
Водопоглинання (W_m), %	20,65
Вміст гідратної води, %	6,2
Середня густина, kg/m^3	1750
Пористість, %	24
Водостійкість (K_p)	0,6

Для оптимізації процесу теплової обробки були проведені дослідження по зміні модифікаційного складу гіпсу після випалу в реакторі залежно від часу обробки в камері томління і фракційного складу обпаленого матеріалу. Результати зміни модифікаційного складу різних фракцій приведені на рис. 6.

а)

б)

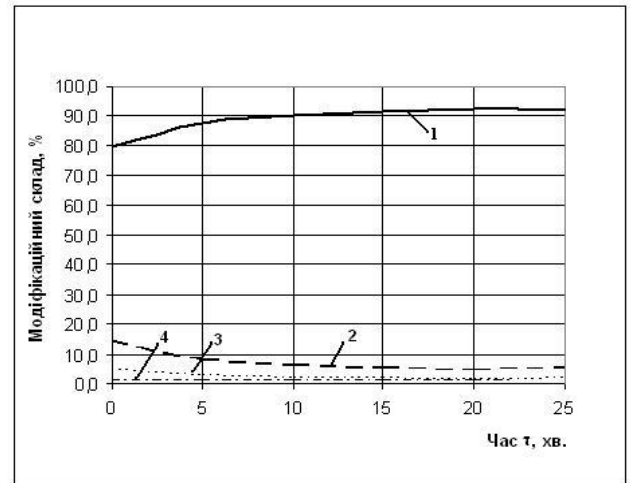
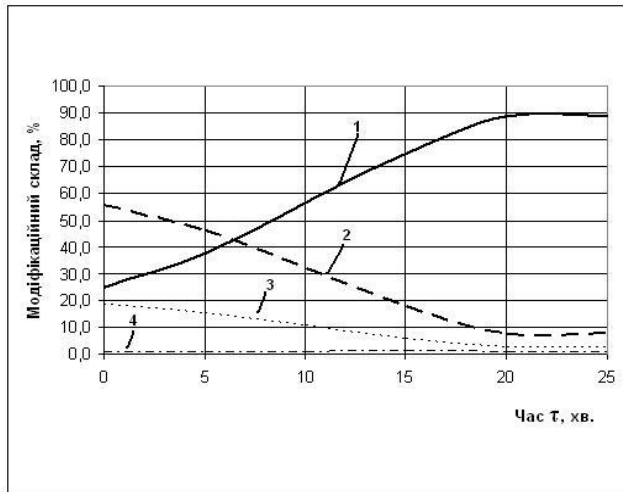


Рис. 6. Динаміка зміни модифікаційного складу частинок гіпсу:
 а – частинки діаметром 0,8 – 1,0 мм; б – частинки діаметром 0 – 0,4 мм:
 1 - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$; 2 - CaSO_4 розч.; 3 - $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$; 4 - CaSO_4 нерозч. + домішки

У відповідності до даних на рис. 6 а найбільш значні зміни модифікаційного складу відбуваються в крупних частинках. Кількість $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ в крупних частинках змінюється від 24,8 % до 88,5 % за рахунок гідrataції розчинного ангідриду і зменшення його з 55,7 % до 8 %. Зменшення двоводного гіпсу в результаті його дегідrataції і переходу в напівводний гіпс відбувається в межах від 18,6 % до 2,6 %. Відносно малі зміни модифікаційного складу спостерігаються в дрібних частинках гіпсу діаметром 0 – 0,4 мм (рис. 6 б). За рахунок малої теплопровідності гіпсу, великого температурного градієнта і тиску після термообробки в реакторі кількість $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ складає 79,4 %. Після перебування таких частинок в камері томління кількість $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ приблизно відповідає 92 %.

Згідно даних рентгенофазового аналізу, основу продукту термообробки складає напівводний гіпс ($d = 2,14, 2,71, 2,82, 3,00, 3,49, 6,00 \text{ \AA}$). Рентгенограма відрізняється інтенсивністю дифракційних ліній, що пов'язане з досконалістю форми кристалів, яка характерна для α -форми гіпсового в'язучого. Дані диференційно-термічного аналізу свідчать, що продукт випалу не містить двогідрату сульфату кальцію і ангідриду, а при 200°C виявився ендоефект, який супроводжується різкою втратою маси зразка (термогравіметричний аналіз). ІЧ-спектри показують інтенсивність деформаційних коливань з максимумом при 597 cm^{-1} , що свідчить про утворення напівводного гіпсу α -форми.

Для візуалізації відмінностей гіпсу α -форми і β -форми були проведені дослідження на електронному мікроскопі JEOL JSM – 840 (рис. 7 а, б).

а)

б)

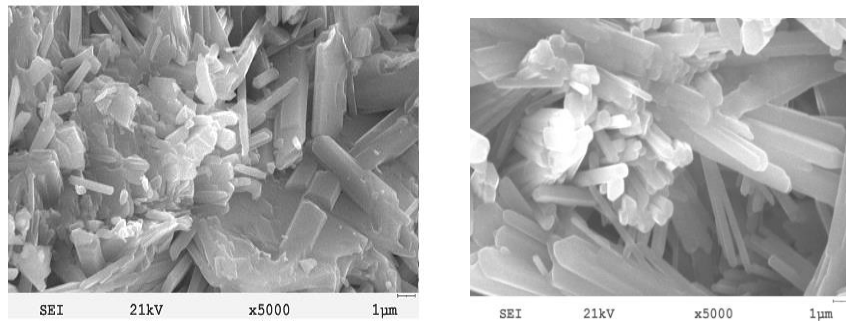


Рис. 7. Мікрофотографії гіпсового каменю:

а – α -гіпс, одержаний за двостадійною технологією в турбулентному потоці;
 б – β -гіпс

Як видно з рис. 7 а, зразок має більш щільну структуру, яка забезпечує високий показник міцності і характерна для гіпсового в'язучого α -форми.

Дані, одержані за допомогою фізико-механічних і фізико-хімічних методів дослідження, підтверджують, що при застосуванні двохстадійної технології обробки гіпсу утворюється α -форма гіпсового в'язучого, яке відповідає тенденціям виробництва і застосування будівельних матеріалів на основі сульфату кальцію і може бути використане для виробництва гіпсових та гіпсо-картонних плит, стінових панелей, гіпсових штукатурок та наливних підлог, завдяки високій міцності та щільності гіпсового каменю після твердіння. Властивості одержаного гіпсового в'язучого також свідчать про можливість його використання в керамічній промисловості для виготовлення гіпсових форм.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу отримання високоміцного гіпсового в'язучого в турбулентному потоці при підвищеному тиску шляхом термообробки дрібнодисперсної гіпсової сировини за двостадійною технологією, де на першому етапі термообробка відбувається в потоці теплоносія в конусоподібному реакторі випалу, а на другому етапі проходить процес вирівнювання температури та хімічного складу обпаленого матеріалу в камері томління.

1. Теоретично та експериментально обґрунтована двостадійна технологія теплової обробки гіпсової сировини. Встановлені параметри термообробки: середньозважений розмір частинок, що подаються на випал, складає 0,64 мм, температура газоподібного теплоносія в реакторі випалу – 310 – 340 °С, час випалу частинок – 0,1 – 0,7 с в залежності від їх розміру, час теплової обробки в камері томління – 20 – 25 хв.

2. Розроблено спосіб отримання високоміцного гіпсу α -форми шляхом випалу дрібнодисперсної сировини в конусоподібному реакторі з подальшою його термообробкою в камері томління. Енерговитрати при виробництві гіпсу за розробленою двостадійною технологією складають 600 кДж/кг, що в 2,5 – 3,5 рази менше, ніж при отриманні α -форми традиційними способами.

3. Розроблено математичні моделі теплової обробки сировини за двостадійною технологією на базі рівнянь теплопровідності в частинних похідних в обпалювальному реакторі та в камері томління.

4. Встановлено параметри технологічного устаткування для виробництва гіпсу: продуктивність – 90 кг/год; потужність двигуна нагнітального вентилятора – 4 кВт; кількість та потужність тенів – 5 тенів по 0,9 кВт; швидкість потоку теплоносія – 10 м/с; тиск в реакторі – 0,13 МПа; вологість сировини – 5 %.

5. Експериментально визначено вплив характеристик процесу термообробки на якість отриманого високоміцного гіпсового в'язучого: міцність; водогіпсове відношення; терміни тужавлення; тонкість помелу матеріалу, який подається на випал; температура; кількість теплоносія та час перебування в камері томління.

6. Доведена висока якість гіпсу, отриманого за розробленою технологією шляхом незалежних сертифікаційних випробувань його фізико-механічних властивостей: нормальна консистенція - 42 – 46 %; початок тужавлення - 9 – 17 хв., кінець тужавлення – 13 – 27 хв.; марка отриманого в'язучого - Г-16 – Г-22; $\rho_{0\alpha\text{-гіпсу}} = 1,75 \text{ г/см}^3$; $V_{\text{пуст. } \alpha\text{-гіпсу}} = 24 \%$; $K_{\text{розм.}} = 0,6$; вміст гідратної води - 6,2 %; водопоглинання – 20,65%; об'ємне розширення – 0,97 %.

7. Розроблено залежності між зміною модифікаційного складу частинок гіпсу від їх діаметру та часу перебування в камері томління. Визначено модифікаційний склад гіпсу після термообробки за двостадійною технологією: $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O}$ – 90 %, CaSO_4 розч – 7 %, $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$ – 2 %, CaSO_4 нерозч. + домішки – 1%. Це доводить високу якість гіпсу, так як в результаті старіння за рахунок взаємодії з атмосферною вологою за 2 – 3 доби $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{ H}_2\text{O}$ у гіпсовому в'язучому складає 96 – 97 %. Достовірність однорідності хімічного складу отриманого гіпсового в'язучого підтверджено фізико-хімічними дослідженнями: методом інфрачервоної спектроскопії, рентгенофазового, диференційно-термічного, термогравіметричного та електронномікроскопічного аналізів.

8. Створена дослідно-промислова установка для швидкісного виробництва високоміцного гіпсу і випущено дослідну партію гіпсового в'язучого. Вартість 1 тонни випаленого гіпсового в'язучого за двостадійною технологією, порівняно з в'язучим, яке було випалено в обертовому самопарнику зменшується на 36,42 грн. Очікуваний економічний ефект при обсязі виробництва 400 тонн гіпсового в'язучого випаленого за двостадійною технологією становить 14568 грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Баранова А.А. Перспективы энергосбережения при производстве гипсовых вяжущих / Е.В. Кондращенко, А.А.Баранова // Науковий вісник

будівництва. – Х.: ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2006. – Вип. 36. – С. 60 – 65. *Особистий внесок* – знайдено технологічні умови для отримання якісного продукту випалу при низьких енерговитратах.

2. Баранова А.А. Теоретические основы тепловой обработки гипсового вяжущего / Е.В. Кондращенко, А.Н. Баранов, А.А. Баранова // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, 2007. – Вып.76. – С. 132 – 138. *Особистий внесок* – розроблена модель термічної високошвидкісної обробки гіпсу в конусоподібному реакторі з використанням камери томління для покращення якості продукту випалу.

3. Баранова А.А. Математическая модель теплотерь камерой томления установки для обжига гипса в турбулентном потоке. / А.А. Баранова // Материалы 46 международного семинара по моделированию и оптимизации композитов - МОК'46 «Моделирование в компьютерном материаловедении». – Одесса: Астропринт, 2007. – С. 31 – 33.

4. Баранова А.А. Исследование перераспределения температуры внутри частиц обожженного гипса в камере томления / Е.В. Кондращенко, А.Н. Баранов, А.А. Баранова // Вісник Національного технічного університету «ХП». – Х.: НТУ, 2008. – Вип. 13. – С. 24 – 30. *Особистий внесок* – розроблена математична модель вирівнювання температури в камері томління після випалу гіпсу в конусоподібному реакторі.

5. Баранова А.А. Особенности движения обожженного материала в камере томления при реализации двухстадийной технологии тепловой обработки гипса / Е.В. Кондращенко, А.Н. Баранов, А.А. Баранова // Галузеве машинобудування, будівництво. Збірник наукових праць. – Полтава: ПолтНТУ, 2009 – Вип. 23. Том 2. – С. 3 – 8. *Особистий внесок* – запропоновано умови рівномірного руху частинок гіпсу в камері томління.

6. Баранова А.А. Движение частиц обжигаемого гипса по горизонтальному участку камеры смешивания при реализации двухстадийной технологии тепловой обработки гипса. / А.А. Баранова // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідравліка і пневматика». – Вінниця: ВДАУ, 2009. – № 4 (26). – С. 13 – 15.

7. Патент № 31289 України, МПК(2006) С04В 11/00. Спосіб випалу гіпсу у завислому стані при підвищеному тиску / О.В. Кондращенко, В.І. Бабушкін, А.А. Баранова, А.М. Баранов; – № а 200600952, заявлено 02.02.2006, опубліковано 10.04.2008. Бюл. № 7. *Особистий внесок* – запропонована двостадійна технологія випалу гіпсу з включенням камери томління на другій стадії одержання високоміцного гіпсу.

8. Баранова А.А. Перспектива снижения энергозатрат на производство гипсовых вяжущих / Е.В. Кондращенко, А.А. Баранова // Программа и тезисы докладов XXXIII научно-технической конференции преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства «Строительство, архитектура, экология». – Х.: ХНАГХ, 2006. – Ч. 1. – С.73-74. *Особистий внесок* – здійснено аналіз літературних даних щодо

виробництва високоміцних гіпсових в'язучих з метою вибору низьковитратних технологій.

9. Баранова А.А. Экологические аспекты и перспективы снижения энергозатрат при производстве гипсовых вяжущих / Е.В. Кондращенко, А.А.Баранова // Матеріали ІІІ міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасних наук: теорія та практика – 2006» – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2006. – С.71 - 73. *Особистий внесок* – виконаний аналіз літературних даних щодо умов випалу гіпсових в'язучих з забезпеченням екологічності та якості продукту випалу.

10. Баранова А.А. Теоретические основы термической обработки гипса / Е.В. Кондращенко, А.Н. Баранов, А.А. Баранова // Строительное материаловедение – теория и практика. Сборник трудов. – М.: СИП РИА, 2006. – С. 82 – 85. *Особистий внесок* – розроблена технологічна модель термічної обробки гіпсу з мінімальними енерговитратами.

АНОТАЦІЯ

Баранова А.А. Отримання високоміцного гіпсового в'язучого у турбулентному потоці при підвищеному тиску. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби.

В дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову задачу виробництва високоміцного гіпсового в'язучого α -форми. Розроблена двостадійна технологія теплової обробки дрібнодисперсного гіпсового каменя у турбулентному потоці газоподібного теплоносія на першому етапі та вирівнювання поля температури та хімічного складу у камері томління на другому етапі. Встановлені залежності між температурними полями і хімічним складом гіпсу в процесі його термообробки в конусоподібному реакторі випалу, також досліджені вплив температури і тиску на структуру обпалюваного матеріалу. Розроблені математичні моделі тепломасопереносу при нагріві частинок гіпсу і стабілізації їх хімічного складу. Запропоновані технологічні прийоми для забезпечення однорідності хімічного складу обпалюваної гіпсової сировини. Для пошуку оптимальних умов проведення процесу випалу гіпсу були використані методи статистичної обробки результатів експерименту. Обґрунтовані параметри технологічного устаткування для термічної обробки дигідрату сульфату кальцію. Вивчені фізико-механічні і фізико-хімічні властивості одержаного високоміцного гіпсу.

Були проведені дослідження по зміні модифікаційного складу гіпсу після випалу в реакторі залежно від часу обробки в камері томління і фракційного складу обпаленого матеріалу. Результати зміни модифікаційного складу різних фракцій доводять адекватність наукової гіпотези отримання високоміцного гіпсового в'язучого в турбулентному потоці газоподібного теплоносія при підвищеному тиску.

Ключові слова: α -форма гіпсового в'язучого, стабілізація хімічного складу, тепломасоперенос в частинці, вирівнювання поля температури, модифікаційний склад.

АННОТАЦІЯ

Баранова А.А. Получение высокопрочного гипсового вяжущего в турбулентном потоке при повышенном давлении. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия.

В диссертационной работе решена актуальная задача получения α -формы гипсового вяжущего по энергосберегающей технологии.

В результате аналитического обзора существующих способов получения гипса были предложены методы снижения энергозатрат на производство гипса за счет обжига мелкодисперсного сырья под давлением, которое обеспечивает выделение воды при дегидратации двуводного гипса в жидкокапельном состоянии без образования вторичного двуhydrата на поверхности обожженных частиц. Разработана двухстадийная технология тепловой обработки мелкодисперсного гипсового камня в турбулентном потоке газообразного теплоносителя на первом этапе и в камере томления для выравнивания поля температуры и химического состава частиц на втором этапе.

В работе установлены зависимости между температурными полями и химическим составом гипса в процессе его термообработки на первой стадии в конусообразном реакторе обжига. Форма реактора обеспечивает необходимое давление и время термообработки, а также предотвращает пережег материала за счет исключения провала частиц вдоль стенки. После обжига в реакторе частицы имеют многофазную структуру. На поверхности частицы радиусом R образуется слой безводного гипса (растворимого сульфата кальция) толщиной от R до R_2 , затем слой полуводного гипса от R_2 до R_1 , а центральная часть зерна радиусом R_1 представлена исходным двуводным гипсом. Для оценки необходимого фазового состава продукта обжига были проведены исследования по изменению кристаллической структуры, плотности и диаметров частиц гипса в результате обжига при различных температурах. Режим обжига в конусообразном реакторе должен обеспечивать согласованность размеров зон частицы друг с другом для того, чтобы количество воды, выделяемой в центральной зоне, было необходимо и достаточно для образования полуводного гипса в наружном слое. Исследованы влияние температуры и давления на структуру обжигаемого материала, найден необходимый трехфазный состав частиц обожженного гипса в реакторе.

Для обеспечения однородной фазы α -полуводного гипса по всему объему частиц разработана вторая стадия теплообработки обожженного гипса в камере томления. Математические модели, полученные в результате решения дифференциальных уравнений, описывают тепломассоперенос при нагреве частиц

гипса и стабилизацию их химического состава. Предложены технологические приемы для обеспечения однородности химического состава обжигаемого гипсового сырья. Обоснован фракционный состав материала, подаваемого на обжиг.

Для поиска оптимальных условий проведения процесса обжига гипса были использованы методы статистической обработки результатов эксперимента. Обоснованы параметры технологического оборудования для термической обработки двухводного сульфата кальция.

Изучены физико-механические и физико-химические свойства полученного гипса, а так же определен модификационный состав продукта обжига.

Исследования модификационного состава гипса проводились в зависимости от времени обработки и фракционного состава обожженного материала. Наиболее значительные изменения модификационного состава наблюдаются в крупных частицах. Количество $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ в крупных частицах изменяется от 24,8 % до 88,5 % за счет гидратации растворимого ангидрита и дегидратации двухводного гипса в результате перехода его в полуводный гипс. Усредненный модификационный состав обожженного гипса по двухстадийной технологии: $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$ – 90 %; CaSO_4 раств. – 7 %; $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ – 2%; CaSO_4 нераств. + прим. – 1%. Результаты изменения модификационного состава различных фракций доказывают адекватность научной гипотезы получения высокопрочного гипсового вяжущего в турбулентном потоке при повышенном давлении.

Ключевые слова: α -форма гипсового вяжущего, стабилизация химического состава, тепломассоперенос в частице, выравнивание поля температуры, модификационный состав.

ABSTRACT

Baranova A.A. Obtaining of a high strength gypsum binder in turbulent flow under increased pressure. – Manuscript.

Dissertation for scientific degree of Candidate of Science (Technology), specialty 05.23.05 – Building Materials and Products.

The dissertation work solves an urgent problem of reduction of energy consumption in manufacture of α -gypsum binder.

As a result of analytical review of the existing gypsum manufacturing options some methods were proposed to reduce energy consumption in gypsum manufacture at the account of small-size raw material burning under pressure that ensures water separation in gypsum dihydrate dehydration in the form of liquid drops.

A two-stage process has been developed for thermal treatment of small-size gypsum rock in a turbulent flow of gas-like heat carrier at the first stage and for

equalization of temperature field and chemical analysis in a holding chamber at the second stage.

The author found dependences between temperature fields and gypsum chemical analysis in the course of its thermal treatment in a cone-type burning reactor as well as studied the effect of temperature and pressure on the structure of material to be burnt. Mathematical models have been developed for heat and mass transfer under heating of gypsum particles and stabilization of their chemical analysis. Some process techniques were proposed to ensure the uniformity of chemical analysis of crude gypsum being burned. Methods of experiment results statistical treatment were used to search for optimal gypsum burning process conditions. Parameters of process equipment for thermal treatment of calcium sulfate dehydrate were substantiated and a respective pilot plant built to obtain gypsum binder in α -form. Physical-mechanical and physical-chemical properties of obtained gypsum have been studied, modified composition of the burning product determined.

Key words: α -form of gypsum binder, stabilization of chemical composition, heat and mass transfer in a particle, equalization of temperature field, modified composition.

Підп. до друку 17.05.2010

Формат 60x84 1/16

Друк на ризографі

Умовн.- друк. арк. 0,9

Замовл. № 5858

Тираж 100 пр.

Безкоштовно

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК №731 від 19.12.2001