

666
Т 88

**БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С. М. КИРОВА**

На правах рукописи

ТУРОВСКИЙ Леонид Николаевич

666.94.052

УДК-666.94.041.004

**ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРА МЕТОДОМ
СКОРОСТНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ
ЦЕМЕНТНО-СЫРЬЕВЫХ ШЛАМОВ**

Специальность 05.17.11 — Технология силикатных
и тугоплавких неметаллических материалов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Минск 1984

Работа выполнена в Минском научно-исследовательском институте строительных материалов (НИИСМ)

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Демидович Б.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Кузнецова Т.В.

кандидат технических наук,
доцент Мазуренко В.Д.

Ведущая организация - Специализированная проектно-конструкторская организация по наладке технологических процессов производства и оказанию технической помощи предприятиям МПСМ БССР (СПИКО ОРГТЕХСТРОМ)

Защита состоится " " 1984 г. на заседании специализированного Совета К.056.01.04 по присуждению ученой степени кандидата технических наук Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова. Замечания и отзывы по автореферату просим направлять в 2 экз., заверенные печатью, по адресу: 220630, г.Минск, ул. Свердлова, 13а, БТИ им. С.М.Кирова, Ученому секретарю Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БТИ им. С.М.Кирова.

Автореферат разослан " " 1984 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
кандидат технических наук,
доцент

ДЯТЛОВА Е.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В соответствии с основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981 - 1985 годы решением XXVI съезда КПСС намечено донести в 1985 году производство цемента до 140-142 млн.т. При этом, увеличение производства цемента должно происходить на базе внедрения энергосберегающих технологий и расширения выпуска высокомарочных многокомпонентных и специальных цемента. Непрерывное увеличение выпуска цемента, являющегося важнейшим материалом для индустриального строительства, стимулирует изыскание различных способов интенсификации тепловой работы цементно-обжиговых печей. В связи с тем, что 39% печного парка СССР представляет собой короткие, морально устаревшие вращающиеся печи, технико-экономические показатели которых значительно ниже средних по отрасли, их реконструкция на базе современных достижений теории и практики в области термохимической подготовки цементно-сырьевых смесей позволит обеспечить как увеличение производства цемента, так и экономию топливно-энергетических ресурсов.

7152 гр.

Известно, что интенсификация процессов тепло- и массопереноса заключается в увеличении коэффициентов внешней и внутренней диффузии. Практически это сводится к повышению относительной скорости омывания газовым потоком материала, уменьшению его частиц и увеличению их пористости. Использование указанных приемов интенсификации обжига клинкера нашло свое отражение в создании таких высокоскоростных теплообменников как распылительные сушилки и декарбонизаторы псевдообжиженного слоя. Комплексное использование этих аппаратов на коротких печах мокрого способа производства обеспечит увеличение их производительности в 2-3 раза и снижение удельного расхода тепла на обжиг клинкера на 15 - 35%. Однако, практическая реализация скоростных методов термообработки цементно-сырьевых шламов при получении клинкера сдерживается из-за несовершенства технологических схем и конструкций аппаратов, которые не позволяют использовать все потенциальные преимущества этой технологии. Сдерживающим фактором развития новой технологии обжига цементного клинкера является недостаточная изученность закономерностей процессов распыления, сушки, нагрева и минералообразования

при скоростной термообработке цементно-сырьевых шламов, а также отсутствие данных для технико-экономической оценки ее эффективности.

Цель и задачи работы. Разработка эффективной и экономичной технологии получения клинкера методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов.

Научная новизна. Исследован процесс распыления цементно-сырьевых шламов центробежными форсунками и уточнена методика расчета их гидравлических характеристик и конструктивных параметров;

- исследован процесс распыления цементно-сырьевого шлама пневматическими форсунками внутреннего смешения и получена зависимость для расчета среднего объемно-поверхностного диаметра капель шлама;

- исследована кинетика сушки капель цементно-сырьевых шламов и установлено значение критического влаго содержания и относительного коэффициента сушки;

- исследованы физико-химические процессы, протекающие при термообработке микрогранул цементной сырьевой смеси: установлена зависимость грансостава и насыпной плотности микрогранул от степени их термообработки, определено влияние скорости нагрева на величину новообразований в области твердофазовых реакций, установлена зависимость микроструктуры клинкеров и их размолоспособности от физических характеристик сырьевой смеси, агрегированной при распылительной сушке;

- установлены технологические параметры обжига клинкера методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов.

Практическая ценность. Разработана и на всех стадиях моделирования, включая опытно-промышленные стенды и установки, проверена технология получения клинкера методом скоростной термообработки цементных сырьевых шламов, при этом определены:

- технологические параметры и конструкции форсунок при центробежном и пневматическом распылении цементно-сырьевых шламов;

- технологические параметры и конструкции аппаратов для предварительной декарбонизации микрогранул цементно-сырьевой смеси;

- технологические условия обжига клинкера на опытно-промышленной линии: вращающаяся печь - декарбонизатор - распылительная сушилка.

Реализация результатов. Результаты проведенных исследований использованы при:

- разработке процессов реконструкции технологической линии обжига клинкера на ПО "Кричевцементношифер". Проект выполнен СПКО "Оргтехстром" г. Минск. Освоение линии намечено на 1985 г.;

- разработке проекта реконструкции технологической линии спекания глиноземоосодержащих шихт на Волховском алюминиевом заводе. Проект выполнен институтом ВАМИ г. Ленинград. Работу по реконструкции линии намечено начать в 1987 г.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на IX конференции молодых ученых и специалистов Прибалтики и Белоруссии по проблемам строительных материалов и конструкций, Брест, 1977 г.; на V Всесоюзно-техническом совещании по химии и технологии цемента, М., 1978 г.; на юбилейной научной сессии Минского НИИСМ, Минск, 1980 г.; на 48 научно-технической конференции БТИ по итогам научно-исследовательских работ за 1983 г., Минск, 1984 г.

Публикации. Содержание работы опубликовано в 10 научных трудах, защищено 16 авторскими свидетельствами и 2 патентами США и Франции.

Объем диссертации. Работа состоит из введения, 7 глав, общих выводов, описки использованной литературы, включающего 137 наименований. Материал изложен на 156 страницах, содержит 45 рисунков, 13 таблиц, 8 приложений.

Автор защищает:

технологии получения клинкера методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов (а.с. №№ 361152, 458527; 463646, патент США № 4421594, патент Франции № 2511611);

- способы совершенствования технологии (а.с. №№ 459441, 663992, 672455), ее контроля (а.с. №№ 684273, 1021904) и конструкции аппаратов скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов (а.с. №№ 397730, 453547, 507764, 570761, 737734, 800535, 827914, 976262);

- результаты исследований распыления цементно-сырьевых шламов центробежными и пневматическими внутренними смесителями

форсунками, уточненную методику расчета конструктивных параметров центробежных форсунок и их гидравлических характеристик ($\Delta p, M$), зависимость среднего объемно-поверхностного диаметра капель шлама от соотношения расходов шлама и воздуха, подаваемого на распыление $\delta_{3,2} = f\left(\frac{V_{\text{шл}}}{V_{\text{в}}}\right)$;

- результаты исследований кинетики сушки капель цементно-сырьевых шламов, константы процесса: критическое влагосодержание ($W_{\text{кр}}$), относительный коэффициент сушки (X) ;

- результаты исследований процессов тепло- и массообмена в распылительных сушилках с нижним центральным вводом теплоносителя с целью выбора оптимального варианта организации вентиляции сушильной камерой ;

- результаты исследований грансостава микрогранул цементных сырьевых смесей в процессе их нагрева, зависимость насыпной плотности микрогранул от степени их термообработки в декарбонизаторе шахтно-циклонного типа: $P_{\text{нас}} = f(L_g)$;

- результаты исследований процесса декарбонизации и образования первичных клинкерных минералов $B-L_2S, C_2S, AF$ при скоростной термообработке микрогранул цементно-сырьевой смеси в декарбонизаторе шахтно-циклонного типа ;

- результаты исследований микроструктуры клинкеров, полученных при обжиге микрогранул цементно-сырьевых смесей, характеризующихся мелкой, неотчетливо выраженной кристаллизацией основных клинкерных минералов C_3S, C_2S и формированием их структуры в виде дендритов ;

- результаты физико-механических испытаний клинкеров, полученных методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов, и исследования их размалываемости ;

- технологические параметры реконструкций коротких печей мокрого способа производства путем установки запечных теплообменных систем для скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов ;

- результаты технико-экономических обоснований реконструкции коротких, морально устаревших печей мокрого способа производства ИПОМ СССР.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе рассмотрено современное состояние производства цемента в СССР и за рубежом. Показано, что оно характеризуется увеличением доли сухого способа, при этом, широкое развитие получила техника предварительной декарбонизации цементно-сырьевой смеси, обеспечивающая повышение производительности и ряда других технико-экономических показателей печных агрегатов. Однако, в СССР, как и в ряде других стран (США, Англия, Польша), выпуск цемента по мокрому способу является преобладающим, причем, 39% печного парка МПСМ СССР представляет собой короткие, морально устаревшие печи. В связи с этим, большую актуальность приобретают работы по совершенствованию мокрого способа на базе современных научно-технических достижений. Одним из таких направлений является применение скоростных методов термообработки цементно-сырьевых шламов как, например, распылительная сушка и последующий высокотемпературный нагрев во взвешенном состоянии.

Анализ использования метода распылительной сушки сырьевых шламов при обжиге цементного клинкера показал, что, несмотря на начало его промышленной реализации, относящейся к 30-м годам, к настоящему времени он не получил широкого развития. Главной причиной такого положения является несовершенство технологических схем и их аппаратного оформления, что не обеспечивает использование всех потенциальных возможностей этого метода.

Одним из важнейших вопросов при распылительной сушке цементно-сырьевых шламов является организация его распыления. Аномалия вязкости цементно-сырьевых шламов и их большие объемы в условиях промышленных производств не позволяют использовать существующие эмпирические зависимости расчета параметров распыления. Вместе с тем, известна методология исследования процесса распыления центробежными форсунками, предложенная Г.Н. Абрамовичем и Л.А. Клячко, и диспергации пневматическими форсунками, разработанная Накаямой-Танасавой, которые могут быть использованы при исследовании процессов распыления цементно-сырьевых шламов.

При исследовании процессов тепло- и массообмена в распылительных сушилках большинство исследователей (А.А. Долиновский,

Л.С.Куц, Р.Киу и др.) отдадут предпочтение описанию кинетики сушки единичных капель высушиваемого вещества. При этом, определение ряда констант процесса сушки проводится на прецизионных стендах. В условиях, когда $W_{кр} = const$, согласно гипотезе В.В.Красникова $Nr = const$, объем исследований может быть ограничен одной экспериментальной кривой сушки.

Анализ работ в области термообработки цементно-сырьевых смесей показал, что характер их грануляции при мокром и сухом способах подготовки существенно отличается, что, по мнению Е.Г.Древицкого, М.В.Бабича и др., отражается на активности получаемого клинкера. С установкой на печах мокрого способа распылительных сушилок они переводятся на питание сухой сырьевой смесью, представляющей собой пористые микрогранулы сферической формы. Изменение характера движения материала по длине печи и его грансостава в этом случае может вызывать и изменение активности клинкера. Так, по мнению Т.В.Кузнецовой, В.Волкова, М.Г.Власовой и др., активность клинкерных минералов в большой степени определяется кристаллохимическими особенностями их структуры. Неоднородная структура клинкеров, отсутствие четкой кристаллизации характерны для клинкеров, полученных методом скоростной термообработки цементно-сырьевых смесей: радиационно-химическими и с использованием декарбонизатора на печи сухого способа.

В результате анализа рассмотренных выше вопросов были сформулированы основные задачи теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации.

Во второй главе описаны методики, использованные при выполнении экспериментальных работ. Исследование влажности, вязкости, плотности, химического, гранулометрического и фазовых составов шламов и микрогранул цементно-сырьевых смесей, а также микроструктуры, активности и размолоспособности полученных клинкеров проводилось с помощью стандартных методик. Исследование процесса распыления цементно-сырьевых шламов центробежными форсунками и пневматическими форсунками внутреннего смещения проводилось на "холодных" стендах и в сушильной камере. В последнем случае дисперсность капель цементно-сырьевого шлама ($\delta_{3,2}$) определялась по результатам ситового анализа микрогранул с учетом усадки капель шлама в процессе сушки. Для исследований были приняты форсунки

с производительностью 1,2 - 18,7 кг/с. Исследование кинетики сушки капель цементно-сырьевых шламов проводилось на прецизионном стенде в интервале температур 135 - 565°C с каплями массой 0,4 - 10 x 10⁻⁶ кг. Расчет длительности равновесного периода испарения капель проводился по известной зависимости, полученной для $Nu = 2$, с учетом ряда условий, характерных для сушки цементно-сырьевых шламов.

Исследование режимов распылительной сушки при различных вариантах организации вентиляции сушильной камеры проводилось на опытной установке Минского НИИСМа.

Исследование процессов термохимической подготовки и обжига клинкера при термообработке микрогранул цементно-сырьевых смесей проводилось на опытных установках: опытно-полупромышленной установке НИИЦемент (А), опытно-полупромышленной установке ГИПРОЦемент (Б), опытно-полупромышленной установке Минского НИИСМа (В), опытно-промышленной установке НИИЦемент (Г). Параметры теплового и гидродинамического режима, величину материальных потоков на установках и стендах определяли при использовании стандартной аппаратуры и методик.

В третьей главе приведены результаты исследований физико-механических свойств цементно-сырьевых шламов и микрогранул цементно-сырьевых смесей, термообрабатываемых в опытных установках. Для исследования были приняты рядовые шламы Подольского цементного завода и ПО "Кричевцементношифер". Результаты исследования представлены зависимостями: плотности шламов от влажности $\rho_w = f(w)$, вязкости неразрушенной и разрушенной структур шламов от влажности $\eta_0^* = f(w)$, $\eta_m^* = f(w)$, а также дифференциальными кривыми распределения микрогранул цементных сырьевых смесей.

В четвертой главе приводится обоснование выбора, для расчетов по методике Г.Н. Абрамовича и Л.А. Клячко, угла раскрытия факела распыла шлама ($\angle \rho$), значения вязкости, соответствующего вязкости разрушенной структуры цементно-сырьевых шламов (η_m^*). Приведены результаты экспериментального и теоретического определения факела распыла центробежных форсунок. Установлено, что максимальное относительное отклонение этих значений не превышает 13,4%, что позволяет рекомендовать для расчетов геометрических параметров и гидравлических характеристик центробежных форсунок при распылении цемент-

тно-сырьевых шламов приняту методику.

В результате исследований распыления цементно-сырьевого шлама пневматическими форсунками внутреннего смешения установлено, что, при прочих равных условиях, зависимость дисперсности капель шлама от соотношения расходов шлама и воздуха, подаваемых на распыление, имеет вид: $\delta_{3,2} = f\left(\frac{V_w}{V_8} \cdot 10^3\right)^{0,4}$

рис. 1.

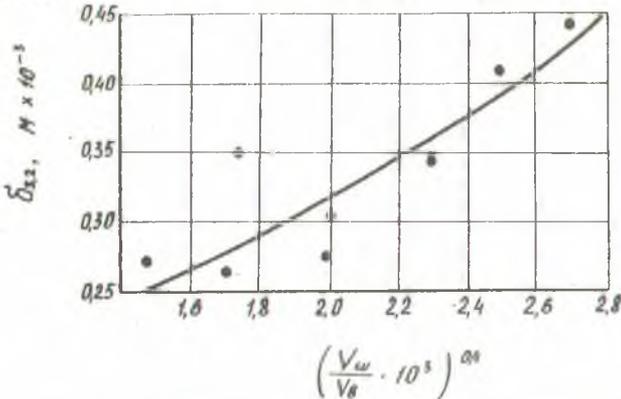


Рис. 1. Зависимость дисперсности капель шлама от соотношения расходов шлама и воздуха, подаваемых на распыление

Это позволило уточнить уравнение Накаяма-Танасавы и получить для исследуемых режимов распыления цементно-сырьевых шламов следующую зависимость для расчета дисперсности капель шлама:

$$\delta_{3,2} = \frac{580 \cdot 10^4}{U_{am}} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_w}} + 1680 \left(\frac{2m}{\sqrt{\sigma \rho_w}} \right)^{0,45} \left(\frac{V_w}{V_8} \cdot 10^3 \right)^{0,4} \quad (I)$$

Установлено, что при дисперсности микрогранул цементно-сырьевой смеси равной 0,4 - 0,3 x 10⁻³ м, удельные энергозатраты на распыление шлама пневматическими форсунками составят 3 - 5 квт-ч/т. В этих условиях пневматический способ распыления цементно-сырьевых шламов может рассматриваться как перспективный при его промышленной реализации.

В пятой главе приведены результаты исследования кинетики сушки капель цементно-сырьевых шламов. Установлено, что процесс сушки капель цементно-сырьевых шламов протекает в два периода. На рис. 2. приведен корреляционный график экспери-

ментальных и расчетных значений длительности периода равновесного испарения. Экспериментально подтверждена правильность принятого аналитического выражения и закономерность сделанных допущений для расчета длительности первого периода сушки капель цементно-сырьевых шламов.

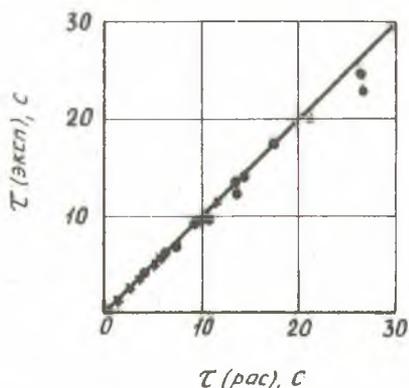


Рис. 2. Сопоставление расчетной и экспериментальной продолжительности I-го периода сушки капель шлама

- - шлам Подольского цементного завода;
- ▲ - шлам ПО "Кричевцементношифер".

В результате анализа полученных массограм установлено, что критическое влагосодержание для капель цементно-сырьевых шламов составляет 8-10%, а убыль влаги после коркообразования происходит по экспоненциальному закону. Обработка результатов экспериментального исследования второго периода сушки капель цементно-сырьевых шламов по законам математической статистики показала, что в полулогарифмической системе координат $\lg W = f(N\tau_2)$ они представлены осредненной прямой, для которой, согласно гипотезе В.В.Красникова, выполняется условие $N\tau = const$. Это позволило определить значения относительного коэффициента сушки ($X = 0,022 \pm 0,0008$) и критического влагосодержания ($W_{кр} = 9 \pm 0,33\%$). Полученные физические константы и принятые допущения позволяют рассчитать длительность процесса сушки капель цементно-сырьевых шламов по известным аналитическим выражениям в реальных условиях.

Исследование теплообмена при распылительной сушке цементно-сырьевого шлама на опытной установке с различной организацией вентиляции сушильной камеры показало, что минимальный удельный расход теплоносителя на испарение влаги обеспечивается при нижнем рассосредоточенном отборе отходящих газов. В этом случае, согласно классификации А.И.Плановского, режим работы установки в большей мере соответствует режиму идеального вытеснения.

В шестой главе приведены результаты исследований процесса термообработки микрогранул цементно-сырьевых смесей на ряде опытных установок. Выявлено, что в подготовительных зонах, включая зону декарбонизации, не происходит разрушения микрогранул. Изложено предположение, что возникающие в этом случае нерелаксируемые напряжения, не вызывают разрушения микрогранул вследствие ее пористой структуры, сформированной в условиях невесомости. Обработка результатов исследований насыпной плотности микрогранул в процессе термообработки позволила установить следующую зависимость:

$$P_{\text{нас}} = e^{2,9(2,103 \cdot 10^{-3} \cdot t_g - 2,015)} \cdot 10^3 \quad (2)$$

При термообработке микрогранул как при медленном, так и при скоростном нагреве в интервале температур 900 – 1200°C отмечено, что качественная картина декарбонизации и связывания выделившегося СаО окисными соединениями, определяется условиями диффузионного контроля этих реакций. Установлено, что при степени декарбонизации микрогранул 80 – 95% в декарбонизаторе опытной установки (В), 40 – 50% выделившегося СаО связывается в первичные клинкерные минералы, которые при расшифровке рентгенограмм были идентифицированы как β -C₂S, C₄A,F (рис. 3.). Петрографические исследования микроструктуры клинкеров, полученных на опытных установках (А), (Б), (Г) показали, что для них характерна не отчетливая мелкокристаллическая структура основных клинкерных минералов (C₃S – 10 – 50 мкм, C₂S – 10 – 25 мкм), при этом, наблюдается срастание зерен и образование дендритов. Сравнительное исследование клинкеров, полученных из тех же цементно-сырьевых шламов в промышленных условиях показало, что при различной микроструктуры с клинкерами опытных установок, их фазовые

составы являются идентичными.

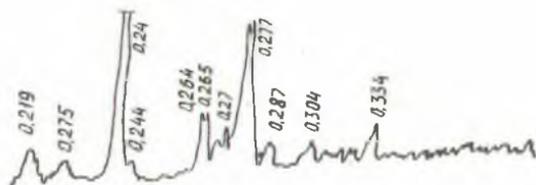


Рис. 3. Рентгенограмма микрогранул цементной сырьевой смеси, термообработанной в декарбонизаторе. Опытная установка (В). Тг = 960°C.

Отмеченные особенности микроструктуры клинкеров, полученных при обжиге микрогранул цементно-сырьевых смесей, предопределили их повышенную гидравлическую активность. Как видно из таблицы, в которой приведены результаты физико-механических испытаний клинкеров, активность клинкеров, полученных методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов, на 8,0 - 12,5 МПа выше активности клинкеров, полученных при традиционной технологии обжига.

Таблица
Результаты физико-механических испытаний клинкеров

Способ обжига клинкера	Прочность на изгиб, МПа			Прочность на сжатие, МПа		
	3	7	28	3	7	28
Печи Подольского цементзавода	3,25	3,67	4,19	18,7	25,4	38,2
Опытная установка (А)	3,82	4,45	6,21	18,8	32,7	50,8
Опытная установка (Г)	4,2	4,9	6,9	22,0	33,0	47,9
Печи ПО "Кричевцементношифер"	5,0	5,1	6,0	23,6	29,3	43,5
Опытная установка (Б)	5,5	5,6	7,2	27,9	36,7	51,8

Исследование размалываемости клинкера, полученного при обжиге микрогранул цементной сырьевой смеси показало, что он относится к трудноразмалываемым ($\mathcal{Q} = 38$ квт-ч/т). Отмеченное

ухудшение размалываемости клинкеров может быть связано с дендритной мелкокристаллической структурой клинкерных минералов, что согласуется с результатами исследований В.В.Шеотакова и В.З.Пироцкого.

В седьмой главе приводится краткое описание авторских свидетельств по технологии и аппаратурному оформлению способов скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов. Дается описание технологической схемы реконструкции линии обжига на ПО "Кричевцементношифер". Приводится сопоставление проектных показателей ее работы с показателями, отмеченными при испытании запечной теплообменной системы: распылительная сушилка - декарбонизатор, в режиме автономного теплоснабжения. Отмечено, что максимальная степень декарбонизации микрогранул цементно-сырьевой смеси составила во время испытаний 84%.

Приводится сравнительная технико-экономическая оценка двух вариантов реконструкции цементного завода с короткими печами мокрого способа производства: путем перевода сырьевого отделения на сухой способ (1) и - сохранения мокрого способа подготовки при предварительной скоростной термообработке цементно-сырьевого шлама в запечной теплообменной системе: распылительная сушилка - декарбонизатор (2). Показана большая эффективность второго варианта реконструкции цементного завода.

Приводится расчет технико-экономической эффективности реконструкции коротких печей мокрого способа цементной промышленности СССР. Показано, что оснащение их запечными теплообменными системами для скоростной термообработки позволит увеличить производство клинкера в СССР на 13,5 млн.т и снизить удельный расход топлива на 1,12 млн.т в год.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана на уровне изобретений технология получения клинкера методом скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов (а.с. № 361152, 458527, 463646, патент США № 4421594, патент Франции № 2511611).

2. Разработаны новые технологические приемы (а.с. № 459441, 663992, 672455) и конструкция аппаратов скоростной

термообработки цементно-сырьевых шламов (а.с. №№ 397730, 453547, 507764, 570761, 737734, 800535, 827914, 976262).

3. Исследованы процессы термообработки и обжига клинкера из микрогранул цементных сырьевых смесей. Установлено, что для основных клинкерных минералов характерна мелкая (C_3S - 10-50 мкм, C_2S - 10-25 мкм), неотчетливо выраженная кристаллизация и формирование их структуры в виде дендритов, что приводит к увеличению активности клинкеров (на $V-I_2,5$ МПа) в сравнении с клинкерами, полученными при традиционном способе обжига из сырьевых смесей идентичного химсостава. При термообработке микрогранул в псевдоожиженных слоях (декарбонизаторах шахтно-циклонного типа) процесс декарбонизации сопровождается клинкерообразованием и 40-50% выделившегося CaO , при степени декарбонизации 80-95%, связывается в первичные клинкерные минералы, из которых поддается идентификации $B-G_2S, C_3AF$. Показано, что в процессе термообработки микрогранул в подготовительных зонах не происходит разрушения их. Установлено, что изменение насыпной плотности микрогранул от степени термообработки описывается зависимостью:

$$\rho_{нас} = e^{-2,9(1993 \cdot 10^{-3} t_3 - 2015)} \cdot 10^3$$

4. Исследован процесс распыления цементно-сырьевых шламов центробежными и пневматическими форсунками в условиях, обеспечивающих прямое использование полученных результатов в промышленности. В результате исследований уточнена методика расчета геометрических параметров центробежных форсунок и их гидравлических характеристик, предложенная Г.Н.Абрамовичем и Л.А.Клячко. Установлено, что при использовании данной методики оценку влияния вязкости необходимо проводить из условий ее равенства вязкости разрушенной структуры цементно-сырьевых шламов.

Определены конструктивные и режимные параметры пневматических форсунок для промышленных сушилок, обеспечивающих удельные энергозатраты на распыление в пределах 3-5 квт·ч/т. Для расчета дисперсности капель шлама в исследованных режимах предложена уточненная зависимость Накаямы-Танасавы:

$$\delta_{32} = \frac{580 \cdot 10^4}{\sigma_{om}} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_w}} + 1680 \left(\frac{z_m}{\sqrt{\sigma \rho_w}} \right)^{0,45} \left(\frac{V_w \cdot 10^3}{V_8} \right)^{0,4}$$

5. Проведены экспериментальные исследования кинетики сушки цементно-сырьевых шламов. Определены значения критической влажности $W_{кр} = 9 \pm 0,33$ и относительного коэффициента сушки $X = 0,022 \pm 0,0008$, что позволяет производить расчет длительности сушки капель цементно-сырьевых шламов. Подтверждена возможность использования в данном случае методики упрощенного расчета кинетики сушки В.В.Красникова.

6. Результаты проведенных исследований использованы при разработке проектов реконструкции печи обжига клинкера на ПО "Кричевцементношифер" и печи спекания глиноземсодержащей шихты Волховского алюминиевого завода. Экономический эффект при реализации этих мероприятий составит 2,6 млн. руб.

Предварительными испытаниями запечной теплообменной системы: распылительная сушилка - декарбонизатор на ПО "Кричевцементношифер" установлено соответствие проектных и экспериментальных параметров процесса скоростной термообработки цементно-сырьевых шламов.

7. Установлено, что реконструкция 102 коротких, морально устаревших печей в системе МПСМ СССР путем установки запечных теплообменных систем: распылительная сушилка - декарбонизатор, позволит увеличить объем выпуска клинкера на 13,5 млн. т при снижении расхода топлива на 1,12 т.у.т в год.

Содержание диссертации опубликовано в следующих основных работах:

1. Демидович Б.К., Подлuzский Е.Я., Якимович Д.Т., Туровский Л.Н. и др. Испытания опытно-промышленной установки "Распылительная сушилка - декарбонизатор". - Экспресс-информация. Цементная промышленность. Отечественный опыт. Серия I. Вып. 3. М., 1984, с. 4 - 7.

2. Демидович Б.К., Якимович Д.Т., Туровский Л.Н. и др. Центробежные шламовые форсунки для системы предварительной декарбонизации. - Экспресс-информация. Цементная промышленность. Серия I. Вып. 4. М., 1983, с. 8 - 9.

3. Бильдюкевич В.Л., Фридман И.А., Хохлов В.К., Моисе-

енко И.П., Туровский Л.Н., Сидоровская И.Б. Улучшение работы коротких печей мокрого способа производства. - Цемент, 1976, №5, с. 13 - 14.

4. Бильдюкевич В.Л., Мелешко В.Ю., Плавник Г.З., Туровский Л.Н. и др. Термическая подготовка цементной сырьевой смеси в аппарате "Распылительная сушилка - декарбонизатор". - Краткие тез. докл. на V Всесоюзном научно-техническом совещании по химии и технологии цемента. М., 1978, с. 156.

5. Бильдюкевич В.Л., Якимович Д.Т., Плавник Г.З., Пилецкий В.И., Туровский Л.Н. и др. Опытнo-промышленная установка для предварительной термообработки сырьевой смеси. - Цемент, 1979, №8, с. 6 - 7.

6. Туровский Л.Н., Якимович Д.Т., Мелешко В.Ю. Интенсификация процессов тепло- и массообмена в распылительных сушилках. - Интенсификация технологических процессов производства строительных материалов и улучшение их качества. Тез. докладов. Минск, 1979, с. 67 - 71.

7. Туровский Л.Н., Фридман И.А. Расчет высокопроизводительных механических центробежных форсунок. - Цемент, 1981, №9, с. 10 - 11.

8. А.с. 361152 (СССР). Способ обжига цементного клинкера. /Ференс Н.И., Фридман И.А., Хохлов В.К., Туровский Л.Н., Несвижский О.Г. Оpubл. в Б.И., 1973, №1.

9. А.с. 397730 (СССР). Запечное теплообменное устройство. /Ференс Н.И., Фридман И.А., Хохлов В.К., Туровский Л.Н. Оpubл. в Б.И., 1973, №37.

10. А.с. 453547 (СССР). Устройство для термообработки цементного шлама распылением. /Туровский Л.Н. и др. Оpubл. в Б.И., 1974, №46.

11. А.с. 463646 (СССР). Способ производства портландцементного клинкера. /Энтин З.Б., Фридман И.А., Кубров В.С., Туровский Л.Н. Оpubл. в Б.И., 1975, №10.

12. А.с. 570761 (СССР). Запечное теплообменное устройство. /Фридман И.А., Дмитриев А.М., Туровский Л.Н. и др. Оpubл. в Б.И., 1977, №32.

13. А.с. 672455 (СССР). Способ распиливания материала в процессе сушки. /Бильдюкевич В.Л., Туровский Л.Н. и др. Оpubл. в Б.И., 1979, №25.

14. А.с. 684273 (СССР). Способ управления процессом рас-

пылительной сушки материала. /Бильдюкевич В.Л., Туровский Л.Н. и др. Оpubл. в Б.И., 1979, №33.

15. А.с. 976262 (СССР). Запечное теплообменное устройство вращающейся печи. /Староверов А.А., Соколов П.И., Телятников Г.В., Каим Г.А., Лазарев Г.И., Нестеров П.Г., Иванов О.И., Якимович Д.Т., Туровский Л.Н., Мелешко В.Д. Оpubл. в Б.И., 1982, №43.

16. А.с. 1021904 (СССР). Способ контроля работы форсунок. /Черныш Н.К., Туровский Л.Н. Оpubл. в Б.И., 1983, №21.

17. Пат. 2511611 (Франция). Способ и устройство для получения гранулированных продуктов из суспензий. /Бильдюкевич В.Л., Туровский Л.Н. и др. / выдан 9.12.1983.

18. Пат. 4421594 (ША). Способ и устройство для получения гранулированных продуктов из суспензий. /Бильдюкевич В.Л., Туровский Л.Н. и др. / выдан 12.10.1983.

Леонид Николаевич Туровский

ПОЛУЧЕНИЕ КЛИНКЕРА МЕТОДОМ СКОРОСТНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ЦЕМЕНТНО-
СЫРЬЕВЫХ ШЛАМОВ

Подписано в печати 15. II. 84г. АТ 18942. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 0,93. Тираж 150 экз. Бесплатно. Заказ 01471. ИИИ
БелНИИТИ. 220004, г. Минск, пр. Машерова, 23.