

УДК 666.541.18

П.П. Лёрке^{1*}, В.Ф. Вернер²

¹д.т.н., профессор, Исследовательский центр „Linotec“, Кельн, Германия

²д.т.н., профессор, ЮКУ им. Ауэзова, Шымкент, Казахстан

*Автор для корреспонденции: paul-loerke@web.de

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТА ИЗ ЭКСТРЕМАЛЬНО ГРУБОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ

Аннотация

Экстремально грубый помол сырья позволяет увеличить количество расплава и снизить температуру его появления до 1100 °С. Основанная на этом более высокая реакционная способность экстремально грубой сырьевой смеси позволяет повысить её коэффициент насыщения и силикатный модуль. Термическая подготовка экстремально грубого материала в подготовительных зонах печи улучшается до 50 %. Это происходит благодаря выходу экстремально грубого материала из псевдо-сжиженного состояния и хорошо функционирующего его перекатывания, сопровождаемого существенной интенсификацией обновления его наружной поверхности и приростом поверхности его теплообмена, а также его более высокой теплопроводности. Тепловые потери существенно уменьшаются в результате снижения температуры отходящих печных газов, улучшению теплообмена в подготовительных зонах печи, снижению температуры обечайки печи и пылевыноса из печи. Это обеспечивает уменьшение расхода топлива до 15 % и увеличение производительности печи до 30 %.

Ключевые слова: Термическая подготовка, экстремально грубая сырьевая смесь, обычно тонкомолотая смесь, твёрдофазовые реакции, высококремнезёмистый расплав.

Введение

Одним из главных направлений развития цементной промышленности в последние десятилетия явилось увеличение размеров вращающихся печей до 150 – 185 м, эксплуатация которых связана с необходимостью изменения технологических параметров подготовки сырья. Исследования, направленные на разработку оптимальных параметров подготовки сырьевых материалов и изучение особенностей технологии получения портландцемента, при укрупнении помола сырьевых смесей для крупногабаритных вращающихся печей, позволит значительно улучшить технико-экономические показатели работы высокопроизводительного оборудования, качество портландцемента и более обоснованно внедрять прогрессивные методы подготовки сырья в цементной промышленности.

Теоретические основы новой технологии.

Известно [1-3], что скорость реакций через расплав гораздо выше твёрдофазовых реакций. Это означает, что скрытые резервы повышения производительности печных установок также находятся в зоне спекания. В этой связи возникает вопрос: Возможно ли существенное увеличение количества расплава в зоне спекания при одновременном снижении температуры его появления без использования минерализаторов, т. к. их применение приводит к повышению себестоимости производства и способно вызвать снижение качества цемента и осложнить экологические проблемы? Ответ на этот вопрос может быть получен при анализе 3-х и 4-х компонентных диаграмм равновесия, представленных на рисунках 1[4] и 2.

Если общий химический состав сырьевых смесей находится у высококремнезёмистого края CaO-SiO₂ между C₃S и C₂S, то, находящийся в равновесии с алитаобразованием, обычный клинкерный расплав серого клинкера возникает при 1338 °С в эвтектике инвариантной точки Т (рис. 1 [4]), образуемого фазами C₂S-C₃A-C₁₂A₇-C₄AF 4-компонентной системы CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃, а белого клинкера при 1455 °С в эвтектике инвариантной

точки Е (рис 1) или точке 3 (рис. 2), образуемого фазами C_2S - $C_3A-C_{12}A_7$ 3-компонентной системы $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ у противоположного относительно Al_2O_3 и/или Fe_2O_3 высокосодержащего $CaO-Al_2O_3$ и/или $CaO-Fe_2O_3$ края диаграммы. Образование только алюмо-ферритного расплава в указанных инвариантных точках происходит при обжиге обычно тонкомолотой смеси, хотя наряду с ними имеются высокоокремнезёмистые эвтектические расплавы, лежащие напротив вдоль края $CaO-SiO_2$, с равным или более низким содержанием CaO и образующиеся по мере повышения их основности, к примеру, для белого цемента в следующих фазовых системах: $CS-CAS_2-S$; $CS-C_2AS-CAS_2$; $C_3S_2-CS-C_2AS$; $C_2AS-C_3S_2-a-C_2S$. Количество высоко силикатного расплава может, при обеспечении оптимальных параметров подготовки сырьевой смеси кратно значению силикатного модуля, преумножится (рис. 3). Температура появления высоко-силикатного расплава при этом снижается как для серого, так и для белого цемента минимум до $1170\text{ }^{\circ}C$. С растворением MgO и щелочей температура появления расплава понижается на $40-60\text{ }^{\circ}C$, как высоко силикатного, так и высоко алюмо-ферритного состава [4]. Существенное улучшение теплообмена в подготовительных зонах и снижение температуры появления расплава в зоне спекания повышает производительность печи и уменьшает расход топлива.

В этой связи возникает вопрос: Если совершенно другие эвтектические расплавы являются для алиообразования благоприятней чем то, что по обычной технологии образуется, почему процесс алиообразования протекает через алюмо-ферритный расплав.

Причина заключается в избытке количества способных к твёрдофазовым реакциям частиц оксида кальция в обычно тонкомолотых смесях, необходимого не только для образования низко-основных легкоплавких силикатов и алюмосиликатов, но и для C_2S . Поэтому на стадии твёрдофазовых реакций образуется белит, который не образует легкоплавкий высоко силикатный расплав. Отсюда следует, что для образования легкоплавкого временно образующегося высоко-силикатного расплава из низко-основных силикатов, сырьевая смесь должна быть загрублена настолько, что твёрдофазовое образование белита максимально исключается.

На основе представленных теоретических обоснований были проведены экспериментальные исследования. В результате было установлено, что, путём оптимизации фракционного состава и максимальной величины зёрен сырьевой смеси при её крайне грубом помоле за счёт возникающего при этом кинетически управляемого минералообразования (как через твёрдофазовые, так и жидкофазные реакции) [5-7], количество жидкой фазы значительно прирастает, а температура его появления снижается. Это сопровождается огромным выигрышем в скорости реакций клинкерообразования.

При крайне грубом помоле сырья количество частиц известняка, способных к твёрдофазовым реакциям, настолько снижается, что посредством твёрдофазовых реакций перед зоной спекания вместо белита образуются легкоплавкие низко основные силикаты и алюмосиликаты (волластонит, ранкинит, геленит и аортит) за счет более мелкой фракции сырьевой смеси, из которых образуется высоко кремнезёмистый легкоплавкий расплав (рис. 1 и 2).

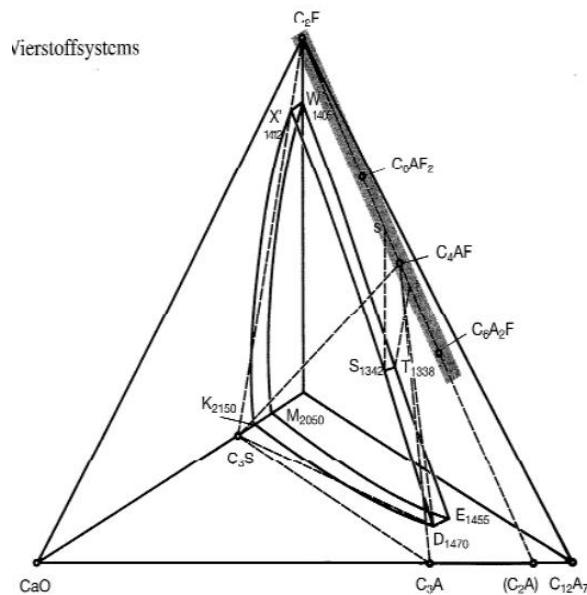


Рис.1: CaO-угол 4-х компонентной системы CaO-SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃ [4].

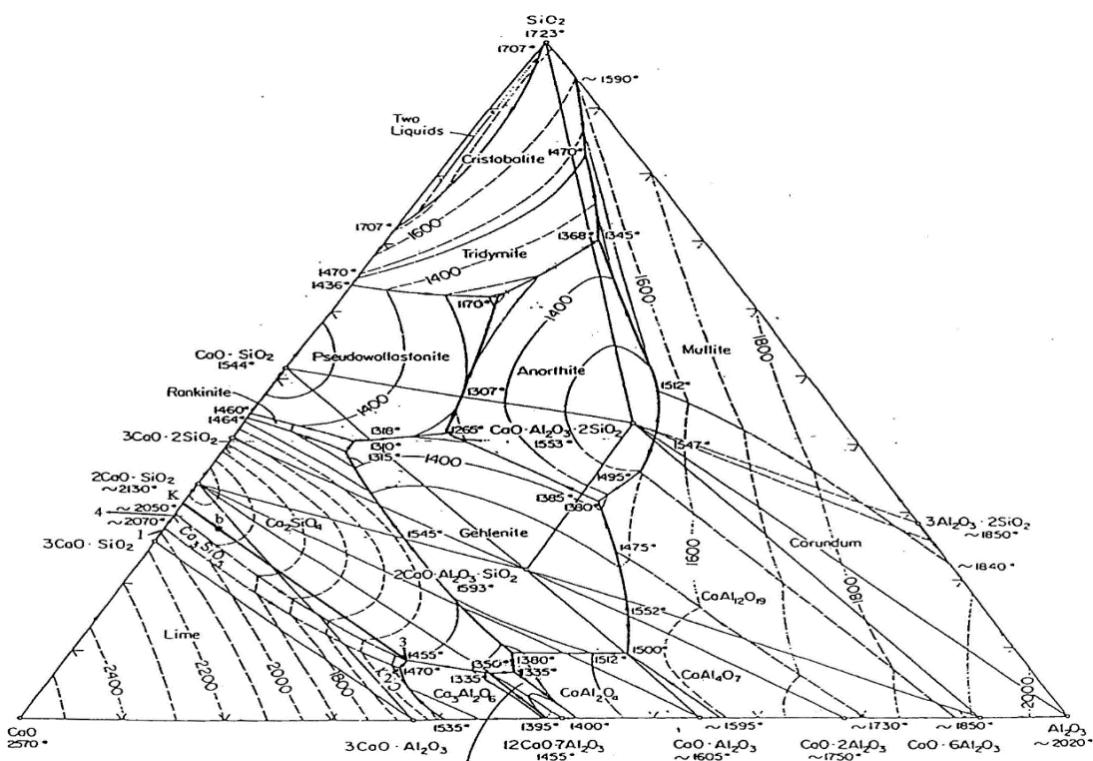


Рис. 2: CaO- и SiO₂-угол 3-х компонентной системы CaO-SiO₂-Al₂O₃.

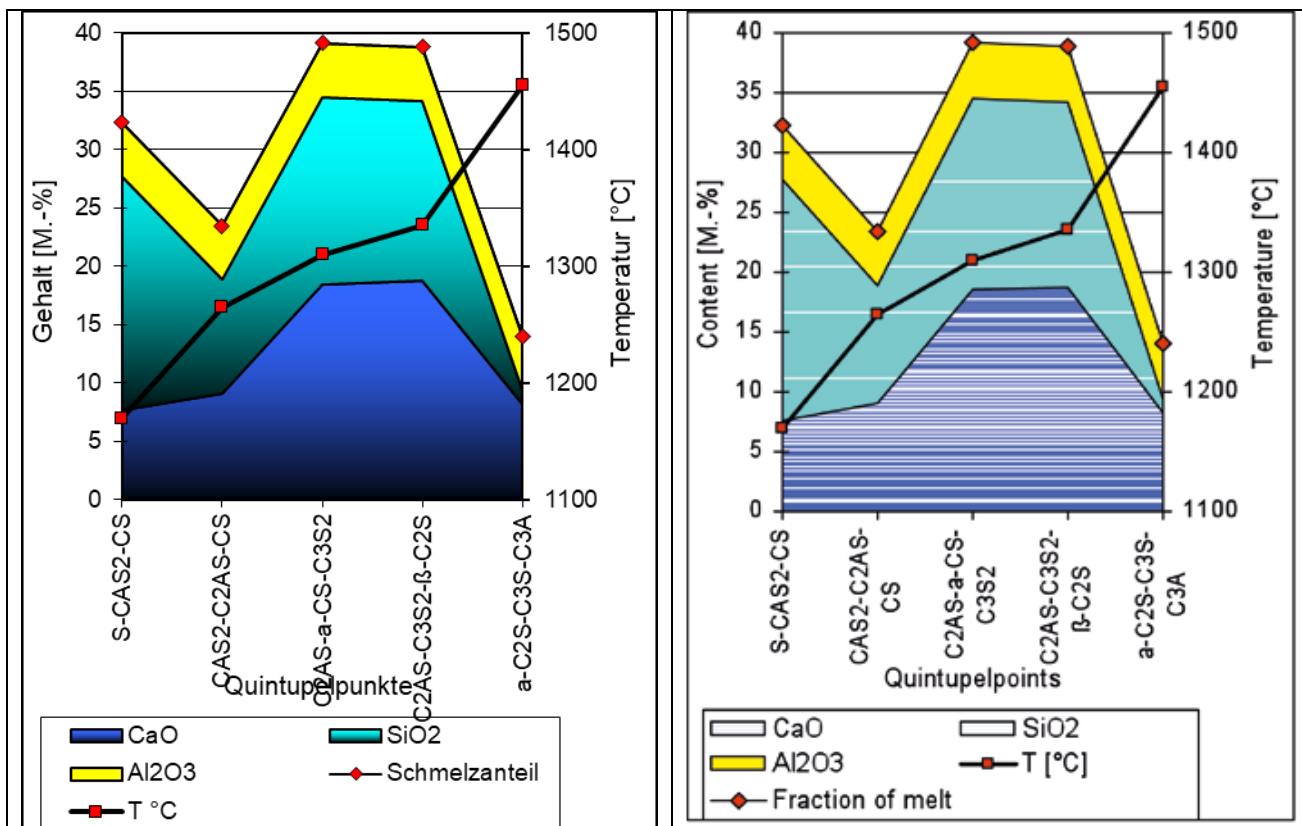


Рис. 3 Количество и состав расплавов, которые могут образоваться у края CaO-SiO₂.

Благодаря формированию при экстремально грубом помоле посредством твёрдофазовых реакций управляемого синтеза легкоплавких силикатов (CAS₂, CS, C₃S₂ и C₂AS), перед появлением при 1280-1300 °C обычного высоко алюмо-ферритного расплава образуется при 1100-1200 °C более легкоплавкий высоко кремнезёмистый расплав. В результате вовлечения SiO₂ в образование клинкерного расплава, количество его в зоне спекания значительно возрастает, а температура его появления снижается с 1280-1300 °C до 1100-1200 °C. В подтверждение этому зона спекания и длина обмазки при этом удлиняются до 50 % [8].

Поскольку через расплав реакции протекают быстрее, чем через твёрдофазовые реакции, с увеличением количества расплава и снижением температуры его появления, связывание CaO существенно ускоряется, т. е. реакционная способность сырьевой смеси возрастает. При этом, чем грубее размолота сырьевая смесь, тем больше образуется высоко силикатного расплава, в котором усваиваются крупные зёरна окиси кальция.

Обобщённо новый энерго-эффективный и высокопроизводительный способ получения цемента основывается на повышении реакционной способности сырьевой смеси при её крайне грубом помоле. Основой этому является всеобъемлющее оптимально управляемое образование промежуточных и основных клинкерных минералов и расплава. Через твёрдофазовые реакции вместо белита образуются в приумноженном количестве низкоосновные легкоплавкие силикаты, из которых при 1100-1200 °C возникает высокосиликатный расплав со значительно более высокой энергией смачивания. В нём, прежде (до сих пор) не разделяемые грубые зёрна извести расцепляются на агрегаты и, с появлением при 1300 °C обычного обогащенного Al₂O₃ и Fe₂O₃ расплава по достижению 1450 °C, полностью растворяются и связываются в аллит (C₃S), а из оставшегося высокого алюмо-ферритного расплава в зоне охлаждения образуются C₃A и C₆A₂F [13]. Вследствие этого предотвращается или существенно ограничивается пересыщение расплава ионами Ca²⁺ у границ зёрен и

агрегатов CaO. Сокращение временного и температурного интервала (промежутка) между разложением кальцита и образованием расплава ведет к снижению рекристаллизации (собирательной кристаллизации) свободного CaO и белита, содержание которых сводится к минимуму. Благодаря появлению большего количества расплава, особенно при низких температурах в области 1100-1300 °C, образование клинкерных минералов через расплав протекает теперь в значительной степени быстрее, чем это имеет место при обычно тонкой сырой смеси в этой же температурной области, но только, как и прежде через твёрдофазовые реакции [5-7] и расплав.

Технологические преимущества обжига клинкера.

Всеобъемлющее изменение кинетики и механизма процесса синтеза клинкера не может не сказаться на процессе теплообмена и поведение материала в печи. Ниже представлены отличительные особенности процесса обжига экстремально грубой сырьевой смеси.

Вес литра печного сырьевого шлама повышается с 1600-1640 г/л обычно тонкомолотого до 1760-1800 г/л экстремально грубого. Поэтому при равном объёмном питании сырьевым шламом благодаря увеличению его веса литра производительность печи возрастёт на 7,3 %.

Основными же причинами повышения производительности печи до 15-30 % и снижения расхода топлива до 15 % являются следующие:

1. Снижение влажности печного шлама при равной растекаемости на 3-4 %, позволяющее снизить расход топлива на 3-4 %.

2. Повышение водоотдачи экстремально грубым шламом в результате снижения количества поверхностно адсорбированной воды, обладающей в сравнении с капельножидкой водой повышенной энергией связи с поверхностью частиц шлама и, как следствие, повышенной до 300 °C температурой возгонки. Это позволяет снизить температуру и разряжение отходящих газов на обрезе вращающейся печи на 20-40 градусов.

3. Интенсификация теплообмена между печными газами и обжигаемым материалом в подготовительных зонах печи и снижение пылевыноса из печи благодаря улучшению грануляции экстремально грубой сырьевой смеси вследствие перехода слоя материала из псевдосжиженного состояния в хорошо сформированный процесс его перекатывания.

4. Снижение возвратного выноса пыли из печи на 25-50 %, позволяющее по мокрому способу производства цемента снизить потери тепла, согласно проведённым замерам и расчётом на 5 % и повысить производительность печи.

5. Снижение безвозвратного выноса пыли из печи на 25-50 %, позволяющее снизить потери тепла согласно проведённым расчётом на 5 % и повысить производительность печи.

6. Более высокая реакционная способность сырьевой смеси экстремально грубого помола.

7. Снижение потерь тепла в окружающую среду за счёт удлинения обмазки в зоне спекания до 40-56 % и уменьшения выброса печных отходящих газов при сниженном удельном расходе топлива.

8. Увеличение количества расплава в зоне спекания на 30-50 % и снижение температуры его образования до 1100-1200 °C обеспечивает рост скорости минералообразования в зоне спекания.

Повышение силикатного модуля при обычном тонком помоле сырьевой смеси, как правило, сопровождается значительным снижением её реакционной способности. Как полагал промышленный опыт, реакционная способность сырьевой смеси экстремально грубого помола с повышением силикатного модуля от 2,18 до 2,4-3,8, а при использовании известняково-фосфорношлаковой смеси от 7 до 12, благодаря появлению наряду с обычным алюмо-ферритным расплавом высоко силикатного расплава, практически не снижается. Присутствие SiO₂ полностью в форме, обеспечивающей протекание твёрдофазовых реакций, позволяет повысить реакционную способность сырьевой смеси. В результате представляется возможным, как показал, к примеру, промышленный опыт на Семипалатинском цементном

заводе, повышение КН сырьевой смеси на 2 пункта с 0,91 до 0,93. Естественно, это наблюдается при правильно подобранном режиме обжига и правильно разработанной технологии подготовке сырьевой смеси.

На основании результатов технологических замеров и проведённых расчетов материального и теплового балансов работы печи Ø5x185 м установлены следующие технико-экономические преимущества: Удельный расход топлива при обжиге рядовой сырьевой смеси на производительности 73,9 т/ч клинкера составил 165,6 кг усл. т/т клинкера, а при обжиге экстремально грубой сырьевой смеси на производительности 75,9 т/ч клинкера составил 155,4 кг усл. т/т клинкера. Снижение расхода топлива при повышении производительности печи с 73,9 до 75,9 т/ч клинкера составило 6,16 %.

Экономия топлива достигнута за счёт улучшения следующих технологических параметров:

1. Снижение температуры отходящих газов на обрезе печи с 210-220 до 170-190 °С.
2. Снижение влажности печного шлама на 2-3 %.
3. Снижение возвратного уноса пыли из печи с 13692,777 кг/ч до 7915,719 кг/ч, т. е. на 42,2 %.
4. Более высокая реакционная способность экстремально грубой сырьевой смеси.
5. Сокращение потерь тепла в окружающую среду с 299600 до 236500 кДж/т клинкера, т. е. с 4,4 до 3,65 % от общего расхода тепла по следующим причинам: Снижение температуры обечайки печи благодаря повышению теплообмена между печными газами и экстремально грубой сырьевой смесью и удлинению обмазки в зоне спекания до 40 %. Снижение выброса печных отходящих газов за счёт понижения удельного расхода топлива.

В пересчёте на 1 т клинкера потери тепла с безвозвратным уносом снижаются с 30 до 10 кДж/т клинкера, а с возвратным уносом с 85700 до 51100 кДж/т клинкера или с 1,3 до 0,8 % всего расходуемого тепла, т. е. на 40,37 %. Тепловое КПД печи при переходе со стандартной на экстремально грубую сырьевую смесь повысился с 29,8 до 31,0 %.

Особого внимания заслуживает факт повышения производительности печи с 73 т/ч клинкера на рядовой сырьевой смеси до 80 т/ч клинкера на экстремально грубой сырьевой смеси при одновременном снижении часового расхода природного газа с 10500 до 10300 нм³/ч, что на 200 нм³/ч ниже. Достигнутое снижение удельного расхода топлива составило 10,49 %. Эти результаты получены при работе печи в установившемся режиме (от 14.10.07) и свидетельствуют о потенциальной возможности дальнейшего повышения производительности печи и снижения удельного расхода топлива.

Логично полагать, что с дальнейшим повышением производительности печи, перечисленные показатели могут быть улучшены. Это находит своё подтверждение при загрузении сырьевой смеси на Семипалатинском цементном заводе до остатка на сите 80 мкм 40-55 %. При этом достигнуто дальнейшее снижение влажности печного сырьевого шлама до 30-32 % и повышение его плотности, т. е. веса литра. При практически равном объёмном питании печи шламом с остатком на сите 80 мкм 50-55 % в результате снижения влажности шлама, повышения его веса литра и уменьшения возвратного и безвозвратного выноса пыли, производительность печи возросла на 14,3-15,2%, а удельный расход топлива снизился на 10,64 %, что отмечено также в работах [9-11].

Снижение влажности шлама, температуры отходящих печных газов и выноса пыли из печи обеспечивают дальнейшее сокращение потерь тепловой энергии, а повышение веса литра шлама, благодаря повышению теплопроводности в слое материала и его хорошему перекатыванию, сопровождаемое интенсивным обновлением поверхности обжигаемого материала, вызывает улучшение теплообмена в подготовительных зонах печи. Увеличение количества высоко силикатного расплава и снижение температуры его появления повышает скорость образования клинкерных минералов. Описанные технико-экономические показатели, достигнутые на Семипалатинском цементном заводе в 1990 и 1991 годах,

представлены в таблице 1.

Таблица 1: Сравнительные технико-экономические показатели производства цемента по энергосберегающей и обычной технологии на Семипалатинском заводе за 1990 г.

Показатели	Ед. измерения	Обычно тонкий помол сырья	Экстремально грубый помол сырья
1. Помол сырья: Трубная шаровая мельница в открытом цикле Ø3,2x15 м			
1.1. Производительность	т/ч	73	220
1.2. Уд. расход эл. энергии (известняк+глина+огарки)	kWч/т	5,4	1,4
1.3. Уровень шума		высокий	На 70 % ниже
1.4. Влажность шлама	%	38,3	30-33
1.5. Тонкость помола:			
1.5.1. Остаток на сите 80 мкм	%	14-17	40-55
1.5.2. Остаток на сите 200 мкм	%	3-4,8	27-35
2. Обжиг клинкера: Вр. печь Ø4,5*170 м			
2.1. Производительность	т/ч	49	56
2.2. Уд. расход ус. топлива	кг/т кл.	235	210
2.3. Пылевынос из печи	т/ч	11,925	6,213
2.4. КН		0,91	0,93
Содержание алита	M.-%	56-58	62-66
3. Помол цемента: Трубная шаровая мельница в открытом цикле Ø2,6*13 м			
3.1. Производительность	т/ч	25,2	30
3.2. Остаток на сите 80 мкм	%	11-13	11-13

Ещё одним важным преимуществом новой технологии является улучшение состояния обмазки в зоне спекания, заключающееся в образовании значительно более ровного слоя спёкшего материала на поверхности огнеупора, в значительно более быстром восстановлении защитного слоя обмазки на её обгоревших участках, чем при обжиге обычно тонкомолотой сырьевой смеси. Выявленные преимущества заключаются в более высокой энергии смачивания высоко силикатного расплава с поверхностью огнеупора и его более высокой вязкости. Высоко силикатный расплав образуется при температурах 1100-1200 °С параллельно к обычному алюмо-ферритному расплаву, который обладает высокой текучестью и возникает вблизи 1300 °С.

Осмотр состояния обмазки в зоне спекания, во время проведения горячих ремонтов печи при работе на экстремально грубой сырьевой смеси, свидетельствует о следующих положительных для повышения стойкости футеровки изменениях: При работе на сырьевом шламе с остатком на сите 80 мкм 30-40 % и более происходит удлинение обмазки в зоне спекания с 30 м до 40-45 м. Причём, чем выше остатки подаваемой на печь сырьевой смеси, тем длиннее обмазка в зоне спекания. Это происходит вследствие снижения температуры появления расплава до 1100-1200 °С. В результате обеспечивается удлинение срока службы футеровки вращающейся печи, особенно под удлинённой частью обмазки. Причинами повышения стойкости футеровки печи является следующее:

1. Устранение химической агрессии ионов щелочных металлов, хлора, фтора и их соединений на открытой от обмазки футеровке печи, которая имеет место при обжиге стандартно тонкомолотой сырьевой смеси.

2. Повышение прочности сцепления обмазки с футеровкой, что обеспечивает существенное снижение обрыва обмазки.

3. Образование более ровного слоя обмазки в зоне спекания.
4. Снижение температурного напряжения на футеровке.

Перечисленные преимущества обеспечивают повышение коэффициента использования печи. Удлинение обмазки в печи является подтверждением образования высоко силикатного расплава при более низких температурах, чем обычного алюмо-ферритного расплава.

Выводы

1. Экстремально грубый помол сырья позволяет увеличить количество расплава и снизить температуру его появления до 1100 °С в результате появления дополнительно к равновесному алюмо-ферритному расплаву временно образующегося неравновесного высоко-кремнезёмистого расплава, что подтверждается в промышленных печах удлинением зоны спекания, т. е. обмазки.

2. Более высокая реакционная способность экстремально грубой сырьевой смеси, благодаря увеличению количества расплава и улучшению теплообмена, позволяет повысить её коэффициент насыщения и силикатный модуль.

3. Тепловые потери существенно снижаются по следующим причинам: 1. Снижение температуры отходящих печных газов вследствие снижения энергии водоотдачи экстремально грубым сырьевым шламом в цепной зоне при уменьшенном количестве в нём адсорбтивно связанной воды. 2. Улучшение теплообмена в подготовительных зонах печи. 3. Снижение температуры обечайки печи в результате удлинения обмазки до 50 % и улучшение теплоотдачи от футеровки к обжигаемому материалу. 4 Снижение пылевыноса из печи.

4. Вес литра экстремально грубого материала в печи и, как следствие, его теплопроводность повышаются, а грануляция его улучшается. Об этом свидетельствует на 7-10 % возросшая температура и степень декарбонизации его вдоль печи.

5. Термическая подготовка экстремально грубого материала в подготовительных зонах печи улучшается почти на 50 %. Это происходит благодаря выходу экстремально грубого материала из псевдо-сжиженного состояния и хорошо функционирующего его перекатывания, сопровождаемого существенной интенсификацией обновления его наружной поверхности и приростом поверхности его теплообмена, а также его более высокой теплопроводности

6. В комплексе перечисленные факторы обеспечивают снижение расхода топлива до 15 % и увеличение производительности печи до 30 %.

Список литературы

1. Будников П.П., Гинслинг А.П. Реакции в смесях твердых веществ. М.: Стройиздат, 1971. – С. 50-161.
2. Блюдкус С.-Г.С., Кичас П.В. Некоторые новые данные о твердофазовых реакциях в системе CaO-SiO₂. // Сб. трудов ВНИИ Теплоизоляция, вып. 5. – Вильнюс, 1971. – С. 228 – 249.
3. Бабушкин В.Н., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. – М.: Стройиздат, 1965. – 286 с.
4. Swayze M.A.: Ein Bericht über Untersuchungen 1. Des ternären Systems CaO-C₅A₃-C₂F, 2. des quaternären Systems CaO-C₅A₃-C₂F-C₂S, 3. des durch 5 % Magnesia modifizierten quaternären Systems (Eng.); Am. J. Sci. 244 (1946) No. 1, S. 1-30, No. 2, S. 65-94.
5. Lörke, P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfaktionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar (2006) S. 1-849 – 1-866
6. Lörke, P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 1: ZKG International, 1/2011, pp. 48-58.

7. Lörke, P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 2: ZKG International, 2/2011, pp. 55-63.
8. Лёрке П.П., Худякова Т.М. Влияние экстремально грубой сырьевой смеси на процессы теплообмена // Вестник науки Южного Казахстана, №3(15). Шымкент 2021. – С. 96-102.
9. Дрожжин А.Х. Снижение влажности шлама Ж. “Цемент”, №5, 1970. – С. 35-40.
10. Канцпольский И.С., Терекович С.В., Дрожжин А.Х. Оптимизация тонкости помола сырьевой смеси. Ж. “Цемент”, №9, 1971. – С. 20-26.
11. Дрожжин А.Х. Технологические особенности получения высокомарочного портландцемента на основе сырья укрупненного помола. Автореф. дисс... конд. техн. наук. Ташкент, 1974. – 22с.
12. Лерке П.П., Чукмарев А.Н., Коробков П.Ф. Промышленный опыт энергосберегающего производства цемента из экстремально грубой сырьевой смеси // Цемент и его применение, 2014, №3. – С. 76-85.
13. Лерке П.П., Вернер В.Ф. Перераспределение примесных элементов в клинкерах экстремально грубой смеси // Вестник науки Южного Казахстана, №3 (15). – Шымкент, 2021. – С. 103-109.

References

1. Budnikov P.P., Ginstling A.P. Reakcii v smesjah tverdyh veshhestv. M.: Strojizdat, 1971. – S. 50-161.
2. Bljudzhus S.-G.S., Kichas P.V. Nekotorye novye dannye o tverdofazovyh reakcijah v sisteme CaO-SiO₂. // Sb. trudov VNII Teploizoljacija, vyp. 5. – Vil'njus, 1971. – S. 228 – 249.
3. Babushkin V.N., Matveev G.M., Mchedlov-Petrosjan O.P. Termodinamika silikatov. – M.: Strojizdat, 1965. – 286 s.
4. Swayze M.A.: Ein Bericht über Untersuchungen 1. Des ternären Systems CaO-C5A3-C2F, 2. des quaternären Systems CaO-C5A3-C2F-C2S, 3. des durch 5 % Magnesia modifizierten quaternären Systems (Eng.); Am. J. Sci. 244 (1946) No. 1, S. 1-30, No. 2, S. 65-94.
5. Lörke, P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfaktionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar (2006) S. 1-849 – 1-866
6. Lörke, P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 1: ZKG International, 1/2011, pp. 48-58.
7. Lörke, P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 2: ZKG International, 2/2011, pp. 55-63.
8. Ljorke P.P., Hudjakova T.M. Vlijanie jekstremal'no gruboj syr'evoj smesi na processy teploobmena // Vestnik nauki Juzhnogo Kazahstana, №3(15). Shymkent 2021. – S. 96-102.
9. Drozhzhin A.H. Snizhenie vlazhnosti shlama Zh. “Cement”, №5, 1970. – S. 35-40.
10. Kancepol'skij I.S., Terekovich S.V., Drozhzhin A.H. Optimizacija tonkosti pomola syr'evoj smesi. Zh. “Cement”, №9, 1971. – S. 20-26.
11. Drozhzhin A.H. Tehnologicheskie osobennosti poluchenija vysokomarochnogo portlandcementa na osnove syr'ja ukrupnennogo pomola. Avtoref. diss... kond. tehn. nauk. Tashkent, 1974. – 22s.
12. Lerke P.P., Chukmarev A.N., Korobkov P.F. Promyshlennyj opyt jenergosberegajushhego proizvodstva cementa iz jekstremal'no gruboj syr'evoj smesi // Cement i ego primenie, 2014, №3. – S. 76-85.
13. Lerke P.P., Verner V.F. Pereraspredelenie primesnyh jelementov v klinkerah jekstremal'no gruboj smesi // Vestnik nauki Juzhnogo Kazahstana, №3 (15). – Shymkent, 2021. – S. 103-109.

П.П. Лёрке^{1*}, В.Ф. Вернер²

¹Т.Ф.Д., профессор, "Linotec" зерттеу орталығы, Кельн, Германия

² Т.Ф.Д., профессор, М. Әuezов атындағы ОҚУ, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: paul-loerke@web.de

ЭКСТРЕМАЛДЫ ӨРЕСКЕЛ ШИКІЗАТ ҚОСПАСЫНАН ЦЕМЕНТ ЭНЕРГИЯСЫН ҮНЕМДЕЙТИН ӨНДІРІСТІҢ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

Түйін

Шикізатты өте дәрекі ұнтақтау балқыма мөлшерін арттыруға және оның пайда болу температурасын 1100 °C дейін төмендетуге мүмкіндік береді. Осының негізінде аса ірі шикізат қоспасының жоғары реактивтілігі оның қанығу коэффициентін және силикат модулін арттыруға мүмкіндік береді. Пештің дайындық аймақтарында аса ірі материалды термиялық дайындау 50%-ға дейін жақсарады. Бұл өте дәрекі материалдың псевдосұйықтық күйінен шығуына және оның сыртқы бетінің жаңауының айтарлықтай күшеуімен және жылу алмасу бетінің жоғарылауымен, сонымен қатар оның жақсы жұмыс істейтін прокатымен байланысты. жылу өткізгіштік. Тұтін газдарының температурасын төмендету, пештің дайындық аймақтарында жылу беруді жақсарту, пеш қабығының температурасын төмендету және пештен шанды тазарту нәтижесінде жылу шығындары айтарлықтай төмендейді. Бұл отын шығының 15%-ға дейін төмендетуді және пеш өнімділігін 30%-ға дейін арттыруды қамтамасыз етеді.

Кілттік сөздер: термиялық дайындық, өте дәрекі шикізат қоспасы, әдетте ұсақ ұнтақталған қоспа, қатты фазалық реакциялар, кремний диоксиді жоғары балқыма.

P.P. Lyorke^{1*}, V.F. Verner²

¹Dr.Tech.Scie., Professor, Linotec Research Center, Cologne, Germany

²Dr.Tech.Sci., Professor, M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan

*Corresponding author's email: paul-loerke@web.de

THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS OF ENERGY-SAVING CEMENT PRODUCTION FROM EXTREMELY COARSE RAW MATERIALS

Abstract

The extremely coarse grinding of the raw material makes it possible to increase the amount of melt and reduce the temperature of its appearance to 1100 °C. Based on this, the higher reactivity of the extremely coarse raw material mixture allows its saturation coefficient and silicate modulus to be increased. Thermal preparation of extremely coarse material in the preparation zones of the furnace is improved by up to 50%. This is due to the exit of the extremely coarse material from the pseudo-liquid state and its well-functioning rolling, accompanied by a significant intensification of the renewal of its outer surface and the increase in its heat exchange surface, as well as its higher thermal conductivity. Heat losses are significantly reduced as a result of lowering the temperature of flue gases, improving heat transfer in the preparatory zones of the furnace, reducing the temperature of the furnace shell and dust removal from the furnace. This provides a reduction in fuel consumption by up to 15% and an increase in furnace productivity by up to 30%.

Keywords: thermal preparation, extremely coarse raw material mixture, usually finely ground mixture, solid-phase reactions, high-silica melt.