

УДК 666.541.18

П.П. Лёрке¹, В.Ф. Вернер²

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

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

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

ОСНОВЫ УЛУЧШЕНИЯ ТЕПЛООБМЕНА С ЭКСТРЕМАЛЬНО ГРУБОЙ СМЕСЬЮ В ЦИКЛОНАХ

Аннотация

Приводятся экспериментальные доказательства улучшения термической подготовки между печными газами и экстремально грубой цементной сырьевой смесью (остаток на сите 90 мкм 50%) в циклонных теплообменниках в сравнении с термической подготовкой традиционной тонкомолотой сырьевой смесью (остаток на сите 90 мкм 14%). Экстремально грубая смесь позволяет при нагревании в циклонах выше 200 °С реактивированную поверхностную энергию обжигаемого материала уменьшить и, таким образом, снизить его тенденцию к агрегации. Потребление энергии для вытеснения адсорбционной H₂O при 200 °С для экстремально грубой смеси на 10-25% меньше, чем для обычной тонкомолотой смеси. Для нагрева до 80% температуры газового потока время нагрева свободно плавающего зерна составляет <0,2-1 с. Фактически, время прохождения обычно тонкой смеси через циклоны составляет 25-32 секунды и вызвано массивным образованием агрегатов и ограниченной теплопередачей. Степень декарбонизации экстремально грубой смеси после циклонов возрастает на 10%.

Ключевые слова: Термическая подготовка, экстремально грубая сырьевая смесь, обычно тонкомолотая смесь, циклонный теплообменник.

Введение

Установленная в промышленном производстве существенно улучшенная термическая подготовка экстремально грубой сырьевой смеси не только во вращающейся печи, но и в циклонном теплообменнике и повышенная гомогенность полученного клинкера [7-15] не согласуется, к сожалению, с существующими в цементной промышленности представлениями [1-6]. Поэтому представляется целесообразным доказать, что существующие разногласия не обоснованы.

1. Влияние степени измельчения сырой смеси на процесс теплообмена в циклонном теплообменнике.

Одной из решающих причин эффективного нагрева сырьевой смеси в циклонном теплообменнике является то, что время нагрева в потоке газа во взвешенном состоянии существенно короче, чем в слое обжигаемого материала вращающейся печи. Относительно обжига экстремально грубой сырьевой смеси возникает вопрос: Как сильно теплообмен в газовом потоке зависит от величины её зёрен?

1.1. Образование агрегатов в экстремально грубой и обычно тонкой смеси.

Опасения относительно возможного снижения теплообмена между печными газами и экстремально грубой сырьевой смесью в циклонном теплообменнике являются необоснованными по результатам уже известных исследований [4, 16] и собственного промышленного опыта [7-15]. Хорошо известно, что на вновь созданной поверхности измельчаемого материала адсорбируются молекулы газа и воды. 1 г вещества способен адсорбировать несколько кубических сантиметров газа [17]. Молекулы газа, адсорбированные на вновь созданной поверхности измельчаемого материала при температуре около 100 °С и ниже, уменьшают поверхностную энергию частиц и, как следствие, уменьшают их способность к агрегации. При последующем нагревании в теплообменнике удаляются

молекулы адсорбированной воды и газа, а также химически связанная вода глинистых минералов, что приводит к воссозданию агрегирования обычно тонкозернистой сырьевой смеси.

При нагревании сырьевой смеси во время сушки вначале испаряется при 100 °С химически и физически свободная жидкая вода. При дальнейшем повышении температуры до 300 °С возгоняется адсорбционно связанная вода. При температурах от 500 до 700 °С возгоняется связанная в форме гидроксильных ионов (ОН)⁻ и Н⁺ конституционная вода и начинает разлагаться кальцит. Это ослабляет и даже разрушает решетку глинистых минералов и частично кальцита. Все это вместе при нагревании материала до 700 °С приводит к непрерывному росту его поверхностной энергии.

Количество воды, адсорбционно связанной на поверхности зёрен измельчённого материала, пропорционально его поверхности. Содержание воды в адсорбционном слое воды толщиной $1 \cdot 10^{-6}$ мм = 10 Å° для обычно тонко измельчённого известняка с удельной поверхностью 0,35-0,42 м²/г и размером частиц от 0,1 до 300 мкм значительно выше, чем для экстремально грубо измельчённого известняка с удельной поверхностью 0,10-0,14 м²/г и размером зерна 0,1-3000 мкм.

С повышением температуры при прохождении обычно тонкомолотой сырьевой смеси через циклонный теплообменник в результате возгонки адсорбционно связанных молекул воды, вытеснения гидроксильных ионов (ОН) из глинистых минералов и разложения кальцита в растущих количествах образуются электростатически обусловленные агрегаты и спеки сырьевой муки.

При перекачивании обжигаемого во вращающейся печи материала из электростатически сформированных агрегатов образуются более плотные гранулы сырьевой смеси. Однако, значительно более высокая насыпная плотность экстремально грубой сырой смеси приводит к образованию в печи значительно более плотных гранул, чем из обычной мелкозернистой смеси.

Если интенсивное образование агрегатов в обычной мелкозернистой сырьевой смеси вызывает значительную задержку теплообмена в циклонном теплообменнике, то сильно выраженное прекращение образования агрегатов в циклонном теплообменнике и образование более плотных гранул во вращающейся печи при экстремально грубой сырьевой смеси приводят к значительному улучшению теплопередачи от печных газов к обжигаемому материалу. При значительно увеличенной численности и, как следствие, площади прямых контактов в более плотных гранулах экстремально грубой сырьевой смеси новообразования, возникающие в результате разложения кальцита и глинистых минералов, могут интенсивнее между собой реагировать. Таким образом, улучшается реакционная способность сырьевой смеси.

1.2. Влияние тонины помола сырья на связывание свободной воды.

Силы притяжения поверхностных кристаллических ионов в измельчённом материале оказывают высокое давление на адсорбционно связанную воду, так что она приобретает повышенную плотность, вязкость и температуру испарения. В результате в процессе помола и сушки материала ещё имеющаяся в нём свободная вода адсорбируется на вновь образованной поверхности в количестве пропорционально её площади.

Для оценки количества энергии на удаление адсорбционно связанной воды исследовали кинетику её испарения в воздушном потоке при 210 °С на гранулах диаметром 3-4 мм из обычно тонкомолотой и экстремально грубой сырьевых смесей с влажностью 17 и 18%. Максимальный размер зёрен материала после измельчения составил для обычной тонкозернистой смеси 0,4 мм при остатке на сите 90 мкм 14% и для экстремально грубой смеси 1,2 мм при остатке на сите 90 мкм 50%. Нагрев гранул проводили в вертикально расположенной трубчатой печи с внутренним диаметром 30 мм и длиной 32 см. Для определения потери массы испарённой воды в воздушном потоке, нагретом до 210 °С, сетка с

10 г гранул подвешивалась с помощью медной проволоки коаксиально в верхней области трубчатой печи на чаше аналитических весов. Для обеспечения по поперечному сечению трубчатой печи равномерности температуры воздуха, направленного вверх, в нижней части трубчатой печи установлен цилиндр диаметром 24 мм. Таким образом, текущий вертикально вверх воздух направляется к стенке печной трубы и, как следствие, нагревается равномерно. Результаты исследований обычно тонкозернистой и экстремально грубой сырьевых смесей на основе мергеля и известняка представлены на рисунках 1 и 2.

Из рисунка 1 следует, что для экстремально грубой сырьевой смеси с мергелем полное испарение воды, определённое по достижению постоянства веса, достигнуто уже за 15 минут, тогда как для обычно тонкомолотой смеси для этого необходимо 20 минут. Из этого следует, что энергия, необходимая для удаления H_2O в экстремально грубой сырой смеси, на 25% ниже, чем для обычно мелкодисперсной смеси.

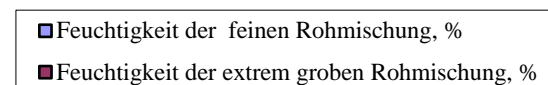
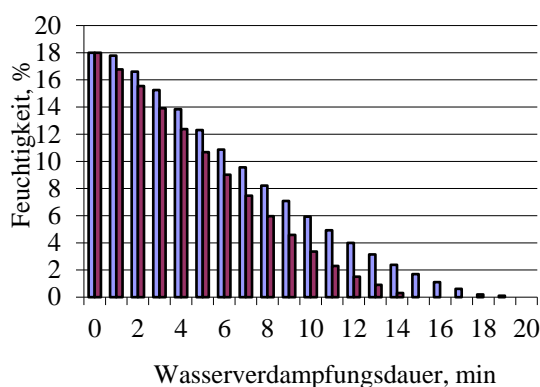


Рис. 1: Испаряемость воды в экстремально грубой и обычно тонкомолотой сырьевой смеси с мергелем.

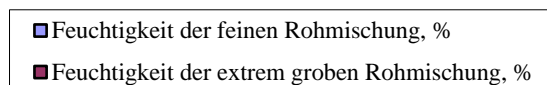
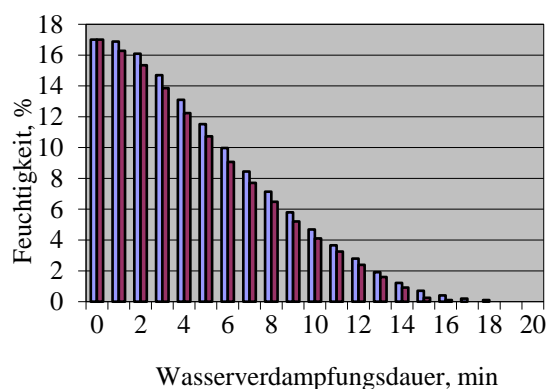


Рис. 2: Испаряемость воды в экстремально грубой и в обычно тонкомолотой сырьевой смеси с известняком.

Из рис. 2 следует, что для смеси с известняком экстремально грубого помола полное испарение воды происходит через 17 мин. Для традиционно тонкомолотой смеси необходимо 19 мин. Из этого следует, что энергия, требуемая на обезвоживание, для экстремально грубой смеси на 10% ниже, чем для обычно тонкомолотой смеси.

Отсюда следует, что при экстремально грубом помоле и сушке сырой смеси, в результате существенного уменьшения вновь созданной поверхности материала и, как следствие, уменьшения адсорбционно связанного количества воды возможно сокращение времени пребывания материала в мельнице, снижение температуры газа и/или уменьшение объёма газа для сушки. В результате сокращения количества тепловой энергии на высвобождение адсорбционно связанной воды в циклонном теплообменнике существует возможность ускоренного нагрева до 300-350 °С и снижение потребности в энергии с повышением производительности печи. На печах мокрого способа уменьшение адсорбционно связанного содержания воды в сырьевом шламе позволяет снизить температуру отходящих газов после печи и, следовательно, потери тепла при обжиге клинкера.

1.3. Влияние величины зёрен сырья на время нагрева в потоке газа.

Как следует из рисунков 3 и 4 [4, 16], время нагрева зёрен сырья в потоке газа независимо от их величины остаётся относительно коротким и составляет менее одной секунды. Например, частицы известняка диаметром 0,15 мм нагреваются в течение 0,2 с. на 80 %

температуры газа. Кривые времени нагрева частиц известняка имеют параболическую зависимость. Из этого следует, что удлинение времени более 0,2 с не приносит экономических преимуществ при нагревании в газовом потоке. Это особенно очевидно, если для уменьшения собирательной кристаллизации СаО перед образованием алита, более поздняя декарбонизация, инициированная крупными зёрнами кальцита, является даже целесообразной. Тем не менее, несмотря на представленные результаты, фактически время прохождения сырьевой смеси, например, в 4-ступенчатом циклонном теплообменнике составляет около 25 секунд [3, 4]. Это означает, что если обычно тонкомолотая сырьевая смесь равномерно распылена в газовом потоке циклонного теплообменника, время прохождения, необходимое для нагрева, примерно, до 800 °С, и, следовательно, продолжительность теплообмена, по меньшей мере, в 25-125 раз превышает результаты исследований [4, 16]. Если фактическое время теплообмена в циклонном теплообменнике между обжигаемым материалом и печными газами не может быть подтверждено значениями исследований [4, 16], которые явно меньше 1 с, тогда причины индустриально более длительного времени теплообмена вызваны нарушениями в параллельно протекающих явлениях, влияющие негативно на процесс теплообмена.

Причина продления времени теплообмена в промышленных условиях объясняется следующим образом: Указанное на рисунках 3 и 4 [4, 16] время нагрева, которое меньше 0,3 секунды, относится к идеальным условиям, при которых каждая отдельная сырьевая частица полностью окружена потоком горячего газа. Во время прохождения обычно тонкомолотой сырьевой смеси через циклонный теплообменник из-за взаимного притяжения частиц происходит уже упомянутое электростатическое образование очень пористых агрегатов. Это может привести к полному охвату выхода циклонов и их заполнению материалом. Очень пористая структура агрегатов очень сильно ограничивает передачу тепла к их центру.

Из рис. 3 и 4 [4, 16] следует, что отдельные крупные частицы требуют большего времени нагрева, чем отдельные более мелкие частицы, отделённые друг от друга. Более крупные частицы также осаждаются ранее в циклоне, чем меньшие [4]. Тем не менее, экстремально грубая сырьевая смесь нагревается быстрее, чем обычно тонкая [7-15]. Это объясняется следующим образом:

В чрезвычайно грубой сырьевой смеси электростатическое взаимодействие ослабляется пропорционально уменьшению её поверхности. Агрегация грубых частиц в циклонном теплообменнике больше невозможна, потому что поверхностная энергия для удержания их веса недостаточно высока. Необходимое время теплообмена в 1-2 секунды для находящихся во взвешенном состоянии отдельных крупных частиц (до 1-3 мм) легко реализуется в четырёхступенчатом циклонном теплообменнике. Агломераты, образующиеся в экстремально грубой смеси уплотняются и частично разрушаются при крупных зёрнах более 90 мкм, доля которых в смеси составляет 30-70%. Это является дополнительным аргументом для лучшего теплообмена с чрезвычайно грубой сырьевой смесью.

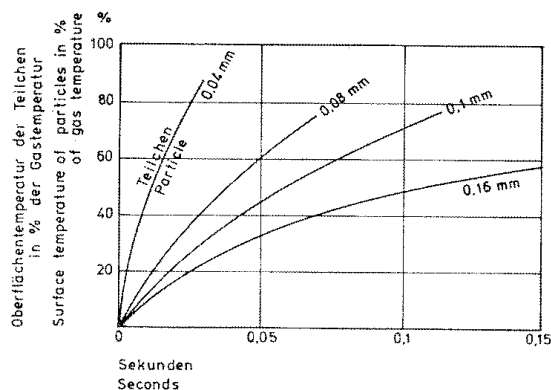


Рис. 3: Время нагрева известняковых частиц разных величин в потоке суспензионного газа при 750 °C [4, 16].

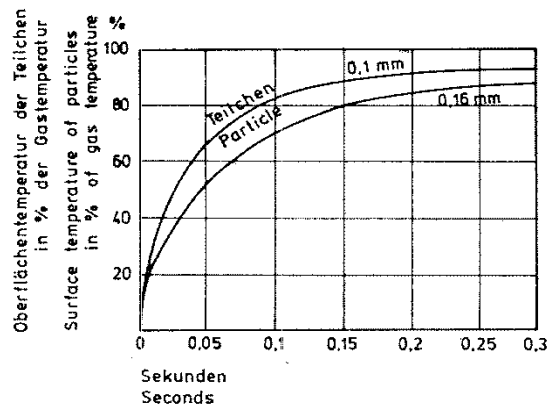


Рис. 4: Время нагрева частиц кварца диаметром 0,1 и 0,16 мм в потоке суспензионного газа при 750 °C [4, 16].

При обжиге экстремально грубой сырьевой смеси в середине крупных зёрен кальцита пропорционально их величине из-за повышенного диффузионного сопротивления выхода CO_2 происходит повышение парциального давления CO_2 . Естественно, это приводит к росту температуры разложения кальцита. Доказательством может служить анализ кривых DTA и TG обычных тонкомолотых и экстремально грубых сырьевых смесей (рис.5, 6). Скорость нагрева смесей при термическом анализе составляла 17 °C/мин. Температура разложения кальцита сырьевых смесей из мергеля при обычной тонине помола с остатком на сите 90 мкм 20% составила 837 °C. При экстремально грубом помоле с остатком на сите 90 мкм 50 % температура возрастает до 900 °C (рис. 5). В сырьевых смесях из известняка и глины температура декарбонизации при обычной тонине смеси с остатком на сите 90 мкм 15 % составила 845 °C. В экстремально грубой смеси с остатком на сите 90 мкм 50% температура возрастает до 914 °C (рис. 6).

Более низкая температура кальцинирования сырьевых смесей из мергеля обусловлена их высокой микрооднородностью вследствие тонкого и тесного прорастания кристаллов кальцита с глинистыми минералами и кварцевыми зёрнами. В известняково-глинистой сырьевой смеси крупные зерна известняка могут быть диспергированы только химически путём расщепления зёрен CaO в высоко силикатном расплаве. Вызванное при этом уменьшение температурного и временного интервала между кальцинированием зёрен крупного кальцита и образованием расплава не при 1300 °C, а при 1100-1200 °C, может в результате уменьшения роста кристаллов из позднее образующегося CaO привести к повышению их реакционной способности.

Более высокая температура кальцинирования в экстремально грубых сырьевых смесях, установленная с помощью DTA и TG, может служить основанием для ожиданий того, что степень декарбонизации после циклонного теплообменника при прочих равных условиях должна быть в экстремально грубой сырьевой смеси также ниже, чем в обычной тонкомолотой смеси. Тем не менее, как следует из промышленных показателей [7-15], степень декарбонизации после циклонного теплообменника при обжиге экстремально грубой сырьевой смеси, примерно, на 10% выше. Как следует из уже приведённого объяснения, это связано с улучшением теплообмена в результате массивного прекращения образования агрегатов.

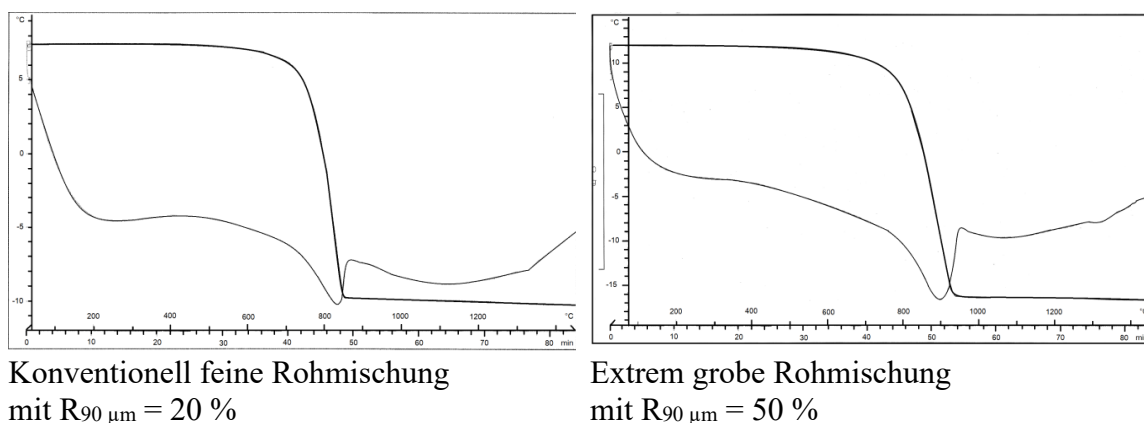


Рис. 5: Термический анализ обычных тонкодисперсных и экстремально грубых сырьевых смесей из мергеля

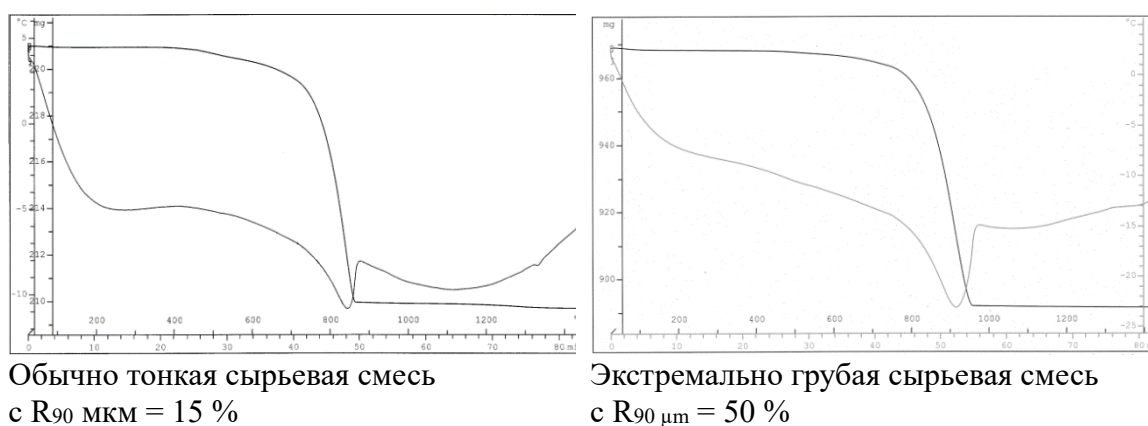


Рис. 6: Термический анализ обычных тонкодисперсных и экстремально грубых сырьевых смесей из известняка и глины

Если же с увеличением величины зёрен кальцита ожидаемая степень декарбонизации из-за увеличения парциального давления CO_2 в ядре не может быть обеспечена, последующее минералообразование путём твёрдофазовых реакций и через расплав может быть в печи без помех продолжено.

Температурный и временной интервал между кальцинацией грубой части кальцита, предназначенного для образования алита, и образованием расплава ещё более укоротится. Таким образом, происходит дальнейшее уменьшение собирательной кристаллизации CaO и белита. Это приводит к увеличению химической активности свободной CaO , предназначенной для образования алита.

Выводы

1. Экстремально грубая сырьевая смесь позволяет при нагреве её в циклонном теплообменнике выше 200°C термически активированную поверхностную энергию и её склонность к образованию агрегатов значительно уменьшить.

2. Необходимая при нагреве до 200°C энергия для экстремально грубой сырьевой смеси с мергелем на 25%, а с известняком на 10% ниже, чем для соответствующих обычных тонкомолотых смесей

3. Время нагрева одиночного свободно плавающего зерна величиной 0,16-2 мм в горячем газовом потоке для достижения 80% температуры составляет менее 0,2-1 с. Фактически, время прохождения частиц сырьевой смеси с величиной зерна до 0,3-0,5 мм через

промышленный 4-5-ступенчатый циклонный подогреватель составляет около 25-32 секунд. Это связано с массивной агрегацией и ограничением передачи тепла от печных газов к материалу.

4. В результате возгонки адсорбционно и химически связанной воды и разложения кальцита образуется очень высокая поверхностная энергия. Вследствие взаимного притяжения тонких частиц <90 мкм происходит электростатически обусловленное образование очень пористых агрегатов. Пористые агрегаты ограничивают передачу тепла в их центры и могут привести к полному перекрытию выхода циклонов и их заполнению материалом.

5. В экстремально грубой сырьевой смеси электростатическое взаимодействие уменьшается пропорционально уменьшению поверхности. Агрегация грубых частиц в циклонном подогревателе невозможна, т.к. поверхностная энергия для удерживания их веса недостаточна. Необходимое время теплообмена в 1-2 секунды для отдельно взвешенных крупных частиц является достаточным в циклонных подогревателях.

6. Несмотря на по ДТА установленное повышение температуры разложения кальцита в экстремально грубой сырьевой смеси примерно на 60 °С, её промышленно достигнутая степень кальцинирования после циклонного подогревателя повышается, примерно, на 10%. Это связано с улучшением теплопередачи между печными газами и экстремально грубой сырьевой смесью благодаря массивному прекращению образования агрегатов.

Список литературы

1. Тейлор Х.Ф.У. Химия цементов. М.: Стройиздат, 1969, 406 с.
2. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1980, 471с.
3. Locher Friedrich W. Cement: Grundlagen der Herstellung und Verwendung. Düsseldorf, VBT, 2000. 522 p.
4. Дуда В. Цемент. М.: Стройиздат, 1981, 464 с.
5. Ludwig U. Einflüsse auf das Sinterverhalten von Zementrohmehl. ZKG, 1981, Nr. 4, (34), P. 175-185.
6. Grigel W., Oberheuser G., Wolter A. Untersuchungen zur Heterogenität von Rohmaterialien und Rohmehlen und ihre Aussage hinsichtlich des Brennverhaltens. ZKG, 1985, Nr. 10 (38), P. 589-590.
7. Lörke P. Energiesparende Zementherstellung durch Optimierung der Rohmehlaufbereitung. „ibausil“ Weimar, 2003, P. 1-949 – 1-966.
8. Lörke P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfraktionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar, 2006, P. 1-849 – 1-866.
9. Lörke P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfraktionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar, 2009, P. 1-949 – 1-876.
10. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 1. ZKG International, 2011, №.1, P. 48-58.
11. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 2. ZKG International, 2011, №. 2, P. 55-63.
12. Lörke P., Röck, R., Herzinger E. Energy efficient cement production using an extremely coarse raw mix – Part 1. ZKG International, 2013, №.3, P. 50-58.
13. Lörke P., Röck R., Herzinger E. Energy efficient cement production using an extremely coarse raw mix – Part 2. ZKG International, 2013, №. 6, P. 62-70.
14. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation. ALITinform, 2014, №. 3 (35), P. 16-31.
15. Лёрке П.П., Чукмарёв А.Н., Коробков П.Ф. Промышленный опыт энергосберегающего производства цемента из экстремально грубой сырьевой смеси // Цемент и его применение, 2014, №3, С. 76-85.

16. Zurakowski S. Design Parameters of Cyclonic Heat Exchangers. Przemysl Chemiczny [Chemical Industry], 1957, № 8, P. 474-479.
17. Бутт И.М., Тимашев В.В. Портландцемент. М.: Стройиздат, 1967, 303 с.

References

1. Tejlör H.F.U. Himija cementov. M.: Strojizdat, 1969, 406 s.
2. Butt Ju.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Himicheskaja tehnologija vjashushhih materialov. M.: Vysshaja shkola, 1980, 471s.
3. Locher Friedrich W. Cement: Grundlagen der Herstellung und Verwendung. Düsseldorf, VBT, 2000. 522 p.
4. Duda V. Cement. M.: Strojizdat, 1981, 464 s.
5. Ludwig U. Einflüsse auf das Sinterverhalten von Zementrohmehl. ZKG, 1981, Nr. 4, (34), P. 175-185.
6. Grigel W., Oberheuser G., Wolter A. Untersuchungen zur Heterogenität von Rohmaterialien und Rohmehlen und ihre Aussage hinsichtlich des Brennverhaltens. ZKG, 1985, Nr. 10 (38), P. 589-590.
7. Lörke P. Energiesparende Zementherstellung durch Optimierung der Rohmehlaufbereitung. „ibausil“ Weimar, 2003, P. 1-949 – 1-966.
8. Lörke P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfractionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar, 2006, P. 1-849 – 1-866.
9. Lörke P. Energieeffiziente gesteuerte Klinkerbildung durch Optimierung der C-, S-, A- und F-Verhältnisse nach Rohmehlfractionen beim extremen Grobmahlen. „ibausil“ Weimar, 2009, P. 1-949 – 1-876.
10. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 1. ZKG International, 2011, №.1, P. 48-58.
11. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation – Part 2. ZKG International, 2011, №. 2, P. 55-63.
12. Lörke P., Röck, R., Herzinger E. Energy efficient cement production using an extremely coarse raw mix – Part 1. ZKG International, 2013, №.3, P. 50-58.
13. Lörke P., Röck R., Herzinger E. Energy efficient cement production using an extremely coarse raw mix – Part 2. ZKG International, 2013, №. 6, P. 62-70.
14. Lörke P. Innovative, energy-efficient manufacture of cement by means of controlled mineral formation. ALITinform, 2014, №. 3 (35), P. 16-31.
15. Ljörke P.P., Chukmarjov A.N., Korobkov P.F. Promyshlennyj opyt jenergosberegajushhego proizvodstva cementa iz jekstremal'no gruboj syr'evoj smesi // Cement i ego primeneniye, 2014, №3, S. 76-85.
16. Zurakowski S. Design Parameters of Cyclonic Heat Exchangers. Przemysl Chemiczny [Chemical Industry], 1957, № 8, P. 474-479.
17. Butt I.M., Timashev V.V. Portlandcement. M.: Strojizdat, 1967, 303 s.

П.П. Лёрке¹, В.Ф. Вернер²

¹Т.ғ.д., профессор, Linotes зерттеу орталығы, Кельн, Германия

²Т.ғ.д., профессор, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан

*Корреспондент авторы: paul-loerke@web.de

ЦИКЛОНДАРДА ӨТЕ ІРІ ҚОСПА БАР ЖЫЛУ ӨТКІЗУДІ ЖАҚСARTУ ПРИНЦИПТЕРІ

Түйін

Дәстүрлі жұқа ұнтақталған шикізат қоспасымен (електегі қалдық 90 мкм 14%) салыстырғанда, циклонды жылу алмастырғыштарда пеш газдары мен экстремалды өрескел цемент шикізат қоспасы

(електегі қалдық 90 мкм 50%) арасындағы жылу дайындығының жақсаруының эксперименттік дәлелдері келтірілген. Өте дөрекі қоспасы 200 °С-тан жоғары циклондарда қызған кезде, күйдірілген материалдың реактивтендірілген беттік энергиясын азайтуға және осылайша оның агрегация тенденциясын төмендетуге мүмкіндік береді. Адсорбциялық H₂O-ны 200 °С-қа ауыстыру үшін энергияны тұтыну әдеттегі жұқа ұнтақталған қоспаға қарағанда 10-25% аз. Газ ағынының температурасын 80%-ға дейін қыздыру үшін еркін жүзетін астықты жылыту уақыты <0,2-1 с құрайды, іс жүзінде жұқа қоспаның циклондар арқылы өту уақыты 25-32 секундты құрайды және агрегаттардың жаппай пайда болуына және шектеулі жылу берілуіне байланысты. Циклондардан кейін өте дөрекі қоспаның декарбонизация дәрежесі 10% - ға артады.

Кілттік сөздер: Термиялық дайындау, өте ірі шикі қоспа, әдеттегідей ұсақталған қоспа, циклон жылу алмастырғыш.

P.P. Lyorke¹, V.F. Verner²

¹Dr.Tech.Sci., 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

PRINCIPLES OF IMPROVING HEAT TRANSFER WITH AN EXTREMELY COARSE MIXTURE IN CYCLONES

Abstract

Experimental evidence is given for improving the thermal preparation between furnace gases and extremely coarse cement raw mix (90 microns 50% residue on a sieve) in cyclone heat exchangers in comparison with the thermal preparation of traditional finely ground raw mix (90 microns 14% residue on a sieve). The extremely coarse mixture makes it possible, when heated in cyclones above 200 °C, to reduce the reactivated surface energy of the fired material and, thus, reduce its tendency to aggregation. The energy consumption for displacement of adsorption H₂O at 200 °C for an extremely coarse mixture is 10-25% less than for a conventional finely ground mixture. For heating up to 80% of the gas flow temperature, the heating time of the free-floating grain is <0.2-1 s. In fact, the passage time of a usually thin mixture through cyclones is 25-32 seconds and is caused by the massive formation of aggregates and limited heat transfer. The degree of decarbonization of an extremely coarse mixture after cyclones increases by 10%.

Keywords: Thermal preparation, extremely coarse raw mix, typically finely ground mix, cyclone heat exchanger.