

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-63-70

Борисов И.Н., *Стронин А.А.*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: alexanderstronin@yandex.ru*

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ АССОРТИМЕНТОВ ДВУХШАРОВОЙ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ОТКРЫТОГО ЦИКЛА

Аннотация. Шаровая мельница имеет энергетический коэффициент полезного действия не более 3,5 % (с учетом принятых мер по интенсификации процесса измельчения материала). Это обусловлено несовершенством конструкции помольного агрегата, заключающейся в том, что исключена возможность полностью преобразовать накопленную мелющей загрузкой механическую энергию в энергию измельчения (т.е. энергию, непосредственно затрачиваемую на разрушение частиц материала). Большая часть накопленной энергии преобразуется в тепло, шум и вибрацию. Существующие на сегодняшний день направления интенсификации процесса измельчения следующие: совершенствование конструкции, внутренней оснастки цементной мельницы; изменение физико-химических свойств среды измельчения; совершенствование схемы измельчения. Авторы данной статьи работают в направлении совершенствования внутренней оснастки, что находит отражение в научно обоснованном выборе ассортимента мелющих тел для камеры тонкого измельчения, т.к. рациональная по составу мелющая загрузка позволяет значительно снизить энергоемкость процесса измельчения. Авторами продолжается исследование возможности использования в камере тонкого помола двухшаровой загрузки. В данной статье проводится краткий обзор разных ассортиментов двухшаровых мелющих загрузок, отличающихся друг от друга только ассортиментом мелющих тел. Показана возможность значительного увеличения производительности мельницы при замене традиционной мелющей загрузки на рациональную по составу двухшаровую.

Ключевые слова: клинкер, производительность, индекс измельчаемости, двухшаровая мелющая загрузка, шаровая мельница, дисперсные характеристики клинкера.

Производство цемента сопряжено с большими энергетическими затратами, которые составляют около 110 кВт·ч/т цемента, при этом только 40–50 % (в зависимости от способа и культуры производства) приходится на цех помола цемента, т.е. на измельчение клинкера в среднем расходуется 40 ± 5 кВт·ч/т [1]. Данные цифры показывают всю необходимость в совершенствовании процесса тонкого измельчения клинкера. Высокое значение удельных энергозатрат, связанных с тонким помолом цемента, объясняется в первую очередь, недостаточным совершенством конструкции самих помольных агрегатов, т.к. в большинстве случаев используются трубные шаровые мельницы, имеющие очень низкий к.п.д. не более 3,5 %. Широкому распространению шаровых мельниц способствуют такие положительные характеристики как: простота конструкции, высокая надежность работы, низкая металлоемкость, высокая производительность, возможность измельчать материал различной твердости и влажности (для материала с высокой влажностью перед мельницей устанавливаются сушилки) [2].

Помимо несовершенства конструкции помольных агрегатов высокое потребление электроэнергии мельницей обусловлено низкой размалываемостью измельчаемого клинкера. Под

размалываемостью понимается количество электроэнергии потребляемой помольным агрегатом, для измельчения материала от начальной крупности до заданной [3]. Согласно методике ГИПРОЦЕМ [1, 4] клинкер относится к сравнительно трудноизмельчаемым материалам. Измельчаемость клинкера зависит в основном от его минералогического состава и режима обжига во вращающейся печи, а также от режима последующего охлаждения [5].

На сегодняшний день существует три основных направления по интенсификации процесса измельчения клинкера в помольных агрегатах:

- 1) Создание новых и совершенствование внедренных на производство помольных агрегатов;
- 2) Изменение физико-химических свойств среды измельчения в сторону повышения размалываемости цемента;
- 3) Совершенствование схем измельчения.

К первому направлению относится создание принципиально новых помольных агрегатов, к которым можно отнести относительно недавно созданные и успешно себя зарекомендовавшие мельницы Hogomill, пресс-валковый измельчитель [6–8]. Также сюда следует отнести совершенствование конструкции уже созданных по-

мольных агрегатов. В рамках данного направления проводятся исследования по совершенствованию внутренней оснастки мельниц. В частности, для шаровых мельниц это заключается в подборе оптимальной по составу мелющей загрузки [9, 10], позволяющей повысить размолоспособность цемента; усовершенствование профиля бронифутеровок [11, 12]; разработка и усовершенствование энергообменных устройств [13–14]; создание мелющих тел нетрадиционной формы (на сегодняшний день существует очень большое количество подобных мелющих тел, в качестве примера можно привести патенты [15, 16] на мелющие тела нетрадиционной формы). Помимо всего прочего сюда же относится и совершенствование конструкции сепараторов.

Физико-химические свойства среды измельчения такие как: электропроводность, влажность, наличие поверхностно-активных веществ, температура внутреннего пространства мельницы, аспирационного воздуха заметно влияют на кинетику процесса тонкого измельчения материала в мельнице. Введение в процессе измельчения материала поверхностно-активных веществ сопровождается заметным увеличением размолоспособности материала, за счет эффекта Ребиндера (который наблюдается преимущественно в камере грубого измельчения) и создания на поверхности вновь образующихся частиц адсорбционного слоя, состоящего из молекул ПАВ, обращенных своими неполярными углеводородными «хвостами» в сторону среды измельчения, что предотвращает агрегацию частиц [17].

В качестве ПАВ используют не только органические вещества, являющиеся отходами производств [18, 19], но и специально разработанные комплексы [20], состоящие из органических соединений, относящихся к разным классификационным группам веществ, помимо этого могут использоваться растворы органических веществ, например, растворы триэтанолamina, глицерина, диэтиленгликоля.

Электропроводность среды измельчения очень важный параметр, сильно влияющий на степень агрегации и адгезии материала, а, следовательно, и на его размолоспособность. Установлено, что чем ниже значение данного параметра, тем больше степень агрегации и адгезии. Электропроводность среды измельчения тесно связана с величиной поверхностного заряда частиц, если среда по своим свойствам является диэлектриком, то в процессе измельчения материала, поверхностные заряды на частицах не будут стекать через мельницу, что вызывает сильную адгезию и агрегацию. Повысить электропроводность можно увеличив влажность аспирацион-

ного воздуха; как вариант провести его озонирование, а также используя устройство по нейтрализации поверхностных зарядов, разработанную фирмой Экофор [21].

Из всего выше сказанного следует, что научные исследования в рамках данного направления связаны с разработкой высокоэффективных интенсификаторов помола (синтез новых ПАВ, создание различных вариантов сочетания ПАВ между собой, т.е. создание комплексов ПАВ), поиском способов по нейтрализации поверхностных зарядов.

К третьему направлению исследований относится усовершенствование имеющихся на сегодняшний день, схем измельчения, а также создание принципиально новых. В данном случае исследования в основном нацелены на создание таких схем измельчения, которые характеризуются меньшей металлоемкостью, меньшим суммарным расходом электроэнергии, потребляемой в целом всем помольным цехом, увеличением размолоспособности измельчаемого материала. Этого можно достичь благодаря созданию помольного комплекса, состоящего из рационально подобранных друг к другу помольного и вспомогательного оборудования разных типов и моделей [22].

Как привило, внедрение принципиально новых по конструкции мельниц всегда сопряжено с изменением схемы измельчения, так, например, при использовании тарельчато-валковой мельницы, представляющей по своей сути объединение под одним корпусом помольного агрегата мельницы тонкого измельчения и сепаратора, уменьшается количество промежуточных транспортирующих устройств (элеваторов, аэрожелобов), при этом отсутствует необходимость в использовании предизмельчителя. Находит широкое применение также совместное использование традиционной шаровой мельницы и принципиально нового по конструкции измельчителя, как пример можно привести двухстадийную схему измельчения с роллер-прессом на первой стадии измельчения [23].

Авторы данной статьи продолжают исследования по созданию оптимального по составу двухшаровой мелющей загрузки для камеры тонкого измельчения, позволяющей снизить энергоемкость всего процесса помола.

Цель исследований: изучить влияние на дисперсные характеристики клинкера разных ассортиментов двухшаровых мелющих загрузок.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– Составить различные assortименты двухшаровых мелющих загрузок, отличающихся друг от друга assortиментом размольных тел,

при этом обеспечив сохранение таких основных характеристик мелющих загрузок, как коэффициент загрузки, энерговооруженность;

– Осуществить помол клинкера на выбранных ассортиментах мелющих загрузок и в течение всего процесса измельчения проводить измерения величины удельной поверхности и полного остатка на сите №008;

– По завершению процесса измельчения математическим способом рассчитать индекс измельчаемости;

– На основе полученных данных провести аналитический сравнительный анализ, с целью установления рационального ассортимента мелющей загрузки.

Методика исследований. Исследования проводили на клинкере завода ЗАО «Осколцемент». Измельчение клинкера осуществляли в лабораторной мельнице ГИПРОЦЕМ 0,5×0,28 м в отсутствие гипса. Материал перед каждым измельчением просеивали через набор стандартных сит с целью выделения класса -5+1,25 мм, который затем поступал на помол в мельницу.

Вначале клинкер измельчался в первой камере лабораторной мельницы, в которую была загружена плотная шаровая упаковка (ПШУ), разработанная профессором кафедры Технологии цемента и композиционных материалов Барбаниягрэ В.Д. на базе университета БГТУ им. В. Г. Шухова [24], основные характеристики которой следующие: общая масса мелющей загрузки 55 кг; коэффициент заполнения мельницы 0,2; ПШУ состоит из шаров диаметром 74 мм и 54 мм, взятых в отношении по массе как 2:1.

После измельчения клинкера в I камере мельницы из нее извлекалась ПШУ и загружалась одна из исследуемых в рамках данной работы двухшаровых загрузок, затем процесс измельчения продолжался. При этом общая масса мелющих тел составляла 55 кг и с коэффициентом заполнения мельницы 0,2. Общее время измельчения в мельнице 40 мин, из этого времени 10 мин измельчение происходит в первой камере, а оставшееся время во второй, т.е. 30 мин.

В данной работе клинкер, измельченный на одном из ассортиментов мелющих загрузок, обозначается номером ассортимента данной загрузки, например, если клинкер был измельчен на двухшаровой мелющей загрузке МЗ II, то клинкер обозначается как образец (клинкер) №2.

Из рис. 1 видно, что клинкера № 1 и 2 после измельчения в I камере имеют одинаковое значение удельной поверхности равное 151 м²/кг, в то

же время образцы под номерами 3 и 6 обладают $S_{уд}=123$ м²/кг, а клинкера № 4 и 5 – 114 м²/кг. Через 10 мин помола во второй камере у клинкеров под номерами 1, 2 происходит увеличение удельной поверхности на 171 м²/кг, т.е. $S_{уд}=322$ м²/кг, такое же значение данного показателя имеют клинкера № 3 и 6 (у обоих прирост удельной поверхности составил 199 м²/кг). У образцов под номерами 4 и 5 за 10 мин измельчения произошло увеличение $S_{уд}$ на 166 м²/кг и составила 280 м²/кг. Спустя еще 10 мин помола во второй камере мельницы клинкера № 1, 2, 3, 4 и 5 имеют одинаковую удельную поверхность равную 373 м²/кг (в данном случае прирост у клинкеров 1, 2 и 3 составил 51 м²/кг, а у клинкеров № 4 и 5 – 93 м²/кг). Образец № 6, получив за 10 мин измельчения прирост в 88 м²/кг, смог достигнуть значения удельной поверхности 410 м²/кг.

После измельчения в первой камере образцы № 1 и 2 имеют одинаковое значение полного остатка на сите № 008 равное 52 % (рис. 2), на данной стадии измельчения клинкера под номерами 4 и 5 также имеют одинаковые значения данного показателя – 58 %, в это же время образец №3 имеет самое низкое значение ΣR_{008} (48%), а образец №6 – наоборот обладает самым большим остяком на сите №008 равным 61%. Спустя 10 мин помола во второй камере остается только одна пара образцов, характеризующиеся одинаковыми значениями полного остатка на сите – это клинкера под номерами 2 и 4 ($\Sigma R_{008} = 5,1$ %), в данном случае у обоих образцов произошло уменьшение значения данного показателя примерно в 10 раз. При этом у клинкеров № 1; 3; 5 и 6 уменьшение составило примерно в 9; 16; 14,5 и 8 раз соответственно. На данной стадии измельчения видно, что образец №3 имеет самый низкий полный остаток на сите (3 %), а образец №6 наоборот имеет самый большой остаток на сите равный 9%.

Спустя 40 мин измельчения из рис. 2 отчетливо видно, что при последовательном замещении во второй камере мельнице ассортимента двухшаровой мелющей загрузки от МЗ III до МЗ VI, наблюдается ступенчатое возрастание величины полного остатка на сите №008 от 1 % (образец №3) до 6 % (образец №6). Самое высокое значение данного показателя наблюдается у клинкера №6 (ΣR_{008} уменьшился примерно в 1,5 раза), самое низкое – у клинкера №3 (ΣR_{008} уменьшился примерно в 3 раза). У образцов под номерами 1; 2; 4 и 5 произошло снижение величины данного показателя примерно в 3,5; 2; 2,5 и 1,3 раза соответственно.

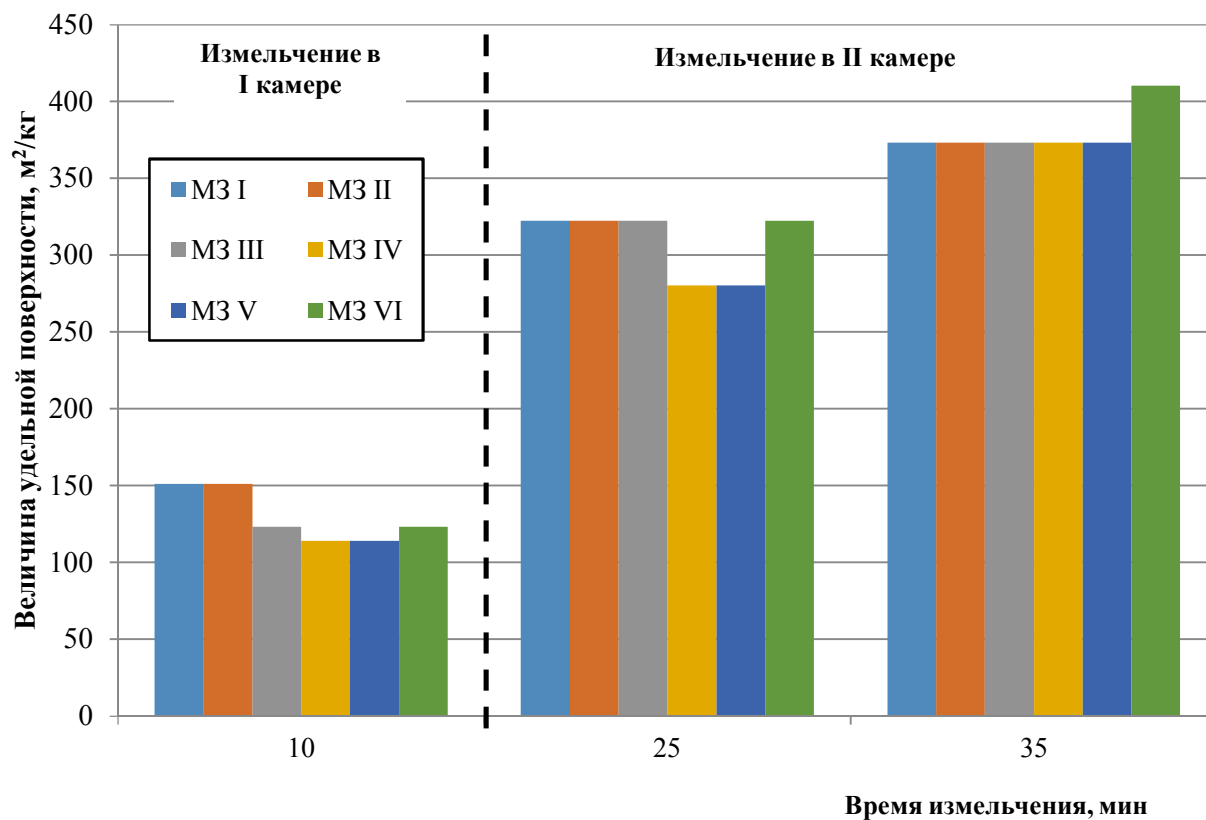


Рис. 1. Зависимость удельной поверхности клинкера от ассортимента мелющей загрузки, использовавшейся в II камере

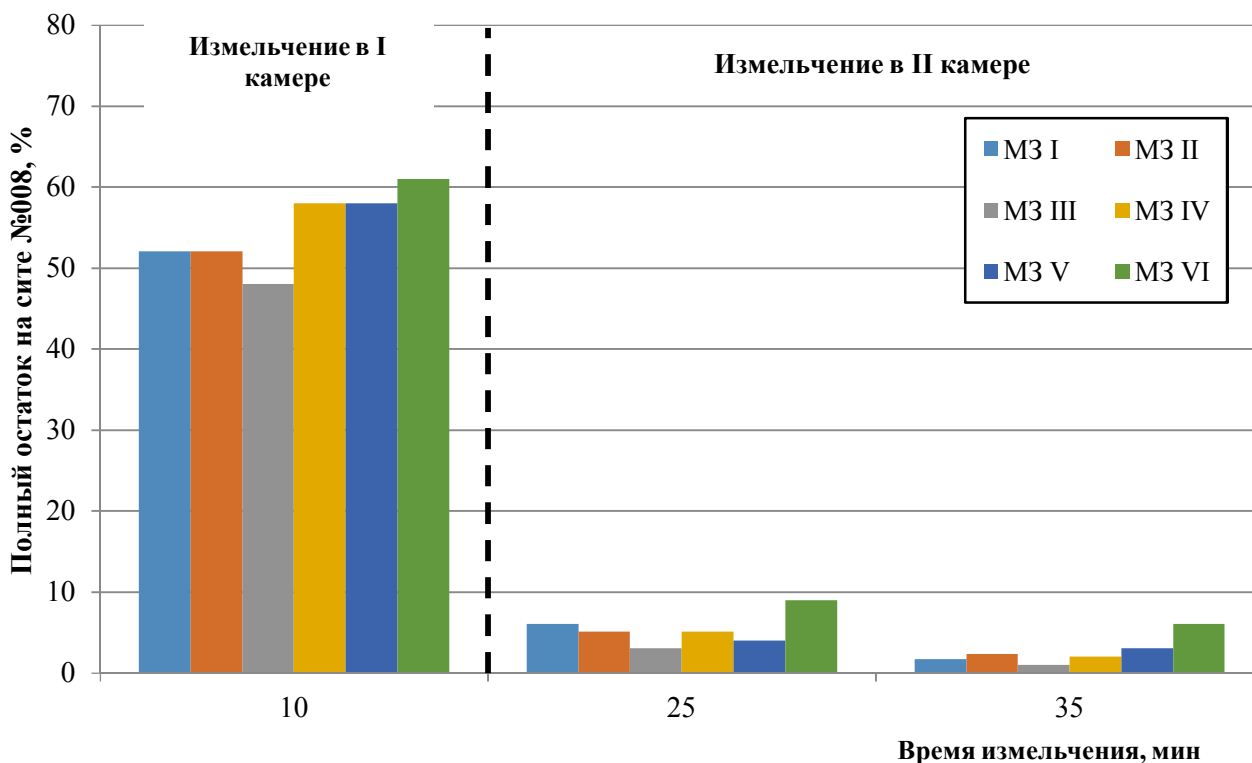


Рис. 2. Зависимость полного остатка клинкера на сите R008 от ассортимента мелющей загрузки, использовавшейся в II камере

По методике ГИПРОЦЕМ [1] были проведены расчеты удельной производительности (q) для всех образцов. Полученные результаты для наглядности представлены в виде графической

зависимости между данным показателем и ассортиментом использовавшейся во второй камере мельницы двухшаровой мелющей загрузки (рис. 3).

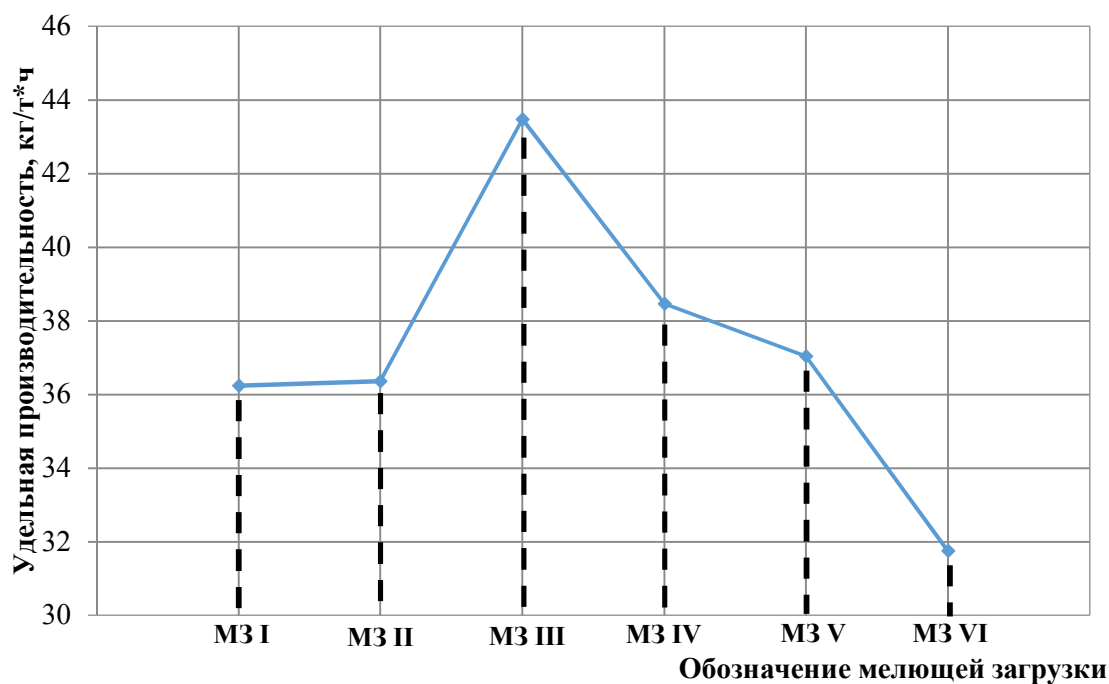


Рис. 3. Влияние ассортимента двухшаровой мелющей загрузки на удельную производительность мельницы

Из рис. 3 следует, что МЗ III обеспечивает значительное увеличение производительности мельницы. Использование других ассортиментов двухшаровых мелющих загрузок МЗ IV; МЗ V и МЗ VI приводит, наоборот, к существенному снижению производительности. В то же время МЗ I и МЗ II в малой степени влияют на значение данного показателя (рис. 3).

В ходе проведения научных исследований можно сделать следующие выводы.

– Исследованные ассортименты мелющих загрузок второй камеры мельницы не однозначно сказываются на таких дисперсных характеристиках как удельная поверхность и полный остаток на сите №008 на всем протяжении процесса измельчения (рис. 1 и 2);

– Двухшаровая мелющая загрузка ассортимента МЗ III обладает оптимальной по составу ассортиментом мелющих тел, что находит свое отражение в увеличении производительности мельницы (рис. 3);

– Применение двухшаровых загрузок других ассортиментов приводит либо к существенному уменьшению производительности мельницы, либо незначительно влияют на данный показатель.

Результаты, полученные в ходе проведения данной научно-исследовательской работы, позволяют судить о практической целесообразности применения в камере тонкого измельчения двухшаровой мелющей загрузки, которая на данном этапе разработки уже позволяет значительно снизить энергоемкость процесса помола клинкера. Помимо всего вышесказанного вытекает необходимость проведения дальнейших исследований

по созданию энергоэффективных двухшаровых загрузок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пирочки В.З. Цементные мельницы: технологическая оптимизация. СПб. Изд-во ЦПО «Информатизация образования», 1999. 145 с.
2. Богданов В.С. Шаровые барабанные мельницы. Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002. 258 с.
3. Гойсис М. Введение в технологию помола // Цемент и его применение. 2014. №3. С. 36–41.
4. Крыхтин Г.С., Кузнецов Л.Н. Интенсификация работы мельниц. Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. 240 с.
5. Потапова Е.Н., Сулименко Л.М. Влияние природы цементного сырья на процессы структурообразования при обжиге клинкера // Цемент и его применение. 2010. №1. С. 182–186.
6. Федотов П.К. Основная причина снижения энергопотребления при разрушении руды в роллер-прессах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. №3. С. 309–314.
7. Эдет Э. Помольная установка HOROMILL // Цемент и его применение. 2012. №1. С. 188–192.
8. Эдет Э. Технология HOROMILL: двадцать лет эксплуатации в разных странах мира // Цемент и его применение. 2014. №1. С. 143–146.
9. Барбанягрэ В.Д., Стронин А.А. Влияние на гранулометрический состав клинкера ассортимента мелющих тел и интенсификатора помола // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2018. №1. С.71–75.

10. Стронин А.А., Барбанягрэ В.Д. Увеличение производительности шаровой мельницы открытого цикла использованием двухшаровой загрузки // Материалы X Международного форума с международным участием (01 – 15 октября 2018 г.). Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С. 1615–1619.
11. Пат. RU 2397813 С1, Российская федерация МПК В02С 17/22. Классифицирующая футеровка цементной мельницы / В.С. Богданов, Н.П. Несмеянов, Д.Г. Круговой; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". 2009102796/03; заявл. 28.01.2009; опубл. 27.08.2010.
12. Пат. RU 179532 U1, Российская федерация МПК В02С 17/22. Ступенчатая футеровка шаровой барабанной мельницы / П.А. Хахалев, В.С. Богданов, Ю.М. Фадин; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". 2017146870; заявл. 28.12.2017; опубл. 17.05.2018.
13. Цыркун А.В., Шатохин И.И., Влияние внутримельничных энергообменных устройств на улучшение работы цементных мельниц // Международная научно-практическая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. Белгородский технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 1563–1566.
14. Тишкова И.С., Еремченко С.М. Внутримельничное энергообменное устройство // VII Международный молодежный форум "Образование, Наука, Производство" (20 – 22 октября). Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 1551–1553.
15. Пат. RU 2642088 С1, Российская федерация МПК В02С 17/20. Мелющее тело / Г.А. Щепочкина; заявитель и патентообладатель Щепочкина Юлия Алексеевна. 2017100779; заявл. 10.01.2017; опубл. 24.01.2018.
16. Пат. RU 119645 U1, Российская федерация МПК В02С 17/20. Мелющее тело / Л.З. Писаренко, И.А. Бусел, Н.П. Метельский, П.И. Бусел; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Стройизыскания», Общество с ограниченной ответственностью «Ижгеострой-М» 2011122020/13; заявл. 31.05.2011; опубл. 27.08.2012.
17. Ходаков Г. С. Тонкое измельчение строительных материалов. М.: Изд-во литературы по строительству 1972. 239 с.
18. Карибаев К. К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. – Алма-Ата: «Наука», 1980. 336 с.
19. Котов С.В., Прохоренко К.Л. Использование отходов нефтепереработки в качестве интенсификаторов помола цемента // Успехи в химии и химической технологии Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева. 2010. Том 24. №6. С.58–61.
20. Шахова Л.Д., Черкасов Р.А. Интенсификация процесса измельчения клинкера с применением интенсификатора помола // Вестник белгородского технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. №4. С. 148–152.
21. Глухарев Н.Ф. Сухое измельчение в условиях электронейтрализации. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 192 с.
22. Шаратов Р.Р. Шаровые мельницы закрытого цикла. Белгород. Изд-во.: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2008. 270 с.
23. Иванов А.Н., Крот А.Ю., Крот О.П. Снижение энергоемкости трубных мельниц путем предизмельчения // Национальный технический университет «Харьковский политехнический университет». 2014. №7. С. 48–54.
24. Пат. 2477659, Российская федерация, МПК В02С 17/20. Шаровая загрузка барабанной мельницы / В.Д. Барбанягрэ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова". № 2010121271/13; заявл. 25.05.2010; опубл. 20.03.2013.

Информация об авторах

Борисов Иван Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры Технологии цемента и композиционных материалов. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Стронин Александр Анатольевич, аспирант кафедры Технологии стекла и керамики. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 11.04.2021 г.

© Борисов И.Н., Стронин А.А., 2021

Borisov I.N., Stronin A.A.

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

*E-mail: privet.9292@mail.ru

INFLUENCE OF DIFFERENT ASSORTMENT OF TWO-BALL GRINDING LOAD ON THE PERFORMANCE OF AN OPEN-CYCLE BALL MILL

Abstract. *The ball mill has an energy efficiency of no more than 3.5 % (taking into account the measures taken to intensify the process of grinding the material). This is due to the imperfection of the design of the grinding unit, which consists in the fact that it is impossible to completely convert the mechanical energy accumulated by the grinding load into grinding energy (i.e., energy directly spent on the destruction of material particles). Most of the stored energy is converted into heat, noise, and vibration. The existing directions of intensification of the grinding process are as follows: improvement of the design, internal equipment of the cement mill; changes in the physical and chemical properties of the grinding medium; improvement of the grinding scheme. The authors of this article work in the direction of improving the internal equipment, which is reflected in the scientifically based selection of the range of grinding media for the fine grinding chamber, since the rational composition of the grinding load can significantly reduce the energy consumption of the grinding process. The authors continue to study the possibility of using a two-ball loading in a fine grinding chamber. This article provides a brief overview of the different ranges of two-ball grinding loadings, which differ from each other only in the range of grinding media. The possibility of a significant increase in the productivity of the mill when replacing the traditional grinding load with a rational two-ball is shown.*

Keywords: *clinker, productivity, grinding index, two-ball grinding loading, ball mill, clinker dispersion characteristics.*

REFERENCE

1. Pirockij V.Z. Cement mills: technological optimization [Cementnye mel'nicy: tekhnologicheskaya optimizaciya]. SPb. Publishing house of the Center for Education Informatization 1999, 145 p. (rus).
2. Bogdanov V.S. Ball drum mills [Sharovye barabannye mel'nicy]. Belgorod: Publishing house of the BelGTASM, 2002, 258 p. (rus).
3. Gojsis M. Introduction to grinding technology [Vvedenie v tekhnologiyu pomola]. Bulletin of Cement and its application. 2014. No. 3. Pp. 36–41. (rus).
4. Kryhtin G.S., Kuznecov L.N. Mill intensification [Intensifikaciya raboty mel'nic]. Novosibirsk: VO "Science". Siberian publishing firm. 1993, 240 p. (rus).
5. Potapova E.N., Sulimenko L.M. Influence of the nature of cement raw materials on the processes of structure formation during clinker firing [Vliyanie prirody cementnogo syr'ya na processy strukturoobrazovaniya pri obzhige klinkera]. Bulletin of Cement and its application. 2010. No. 1. Pp. 182–186. (rus).
6. Fedotov P.K. The main reason for the reduction in energy consumption during the destruction of ore in roller presses [Osnovnaya prichina snizheniya energopotrebleniya pri razrushenii rudy v roller-pressah]. Mining information and analytical bulletin. 2013. No. 3. Pp. 309–314. (rus).
7. Edet E. Grinding plant HOROMILL [Pomol'naya ustanovka HOROMILL]. Bulletin of Cement and its application. 2012. No. 1. Pp. 188–192. (rus).
8. Edet E. HOROMILL technology: twenty years of operation around the world [Tekhnologiya HOROMILL: dvadcat' let ekspluatatsii v raznyh stranah mira]. Bulletin of Cement and its application. 2014. No. 1. Pp. 143–146. (rus).
9. Barbanyagre V.D., Stronin A.A. Influence on the granulometric composition of the clinker of the range of grinding media and the grinding intensifier [Vliyanie na granulometricheskij sostav klinkera assortimenta melyushchih tel i intensivatora pomola]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2018. No. 1. Pp. 71–75. (rus).
10. Stronin A.A., Barbanyagre V.D. Increasing the productivity of an open-loop ball mill using a double-ball charge [Uvelichenie proizvoditel'nosti sharovoj mel'nicy otkrytogo cikla ispol'zovaniem dvuhsharovoj zagruzki]. Materials of the X International Forum with International Participation. (01–15 October 2018). Belgorod: BSTU named after V.G. Shukhova. 2018. Pp. 1615–1619. (rus).
11. Pat. RU 2397813 C1, Russian Federation IPC B02C 17/22. Classifying lining of a cement mill. V.S. Bogdanov, N.P. Nesmeyanov, D.G. Circular; applicant and patentee State educational institution of higher professional education "Belgorod State Technological University named after VG Shukhov". 2009102796/03; declared 01/28/2009; publ. 27.08.2010.
12. Pat. RU 179532 U1, Russian Federation IPC B02C 17/22. Step lining of a ball drum mill. P.A. Khakhalev, V.S. Bogdanov, Yu.M. Fadin; applicant and patentee State educational institution of higher

professional education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov". 2017146870; declared 12.28.2017; publ. 05.17.2018.

13. Cyrkun A.V., Shatohin I.I. Influence of intramill energy exchange devices on improving the operation of cement mills [Influence of intramill energy exchange devices on improving the operation of cement mills]. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya molodyh uchenykh BGTU im. V.G. Shuhova. Belgorodskij tekhnologicheskij universitet im. V.G. Shuhova. 2015. Pp. 1563–1566. (rus)

14. Tishkova I.S., Eremchenko S.M. Intra-mill energy exchange device [Intra-mill energy exchange device]. VII Mezhdunarodnyj molodezhnyj forum «Education, science, production». Belgorod: BGTU im. V.G. Shuhova, 2015. Pp. 1551–1553. (rus)

15. Pat. RU 2642088 C1, Russian Federation IPC B02C 17/20. Grinding body. G.A. Shchepochkin; applicant and patentee Shchepochkina Yulia Alekseevna. 2017100779; declared 01/10/2017; publ. 24.01.2018.

16. Pat. RU 119645 U1, Russian Federation IPC B02C 17/20. Grinding body. L.Z. Pisarenko, I.A. Busel, N.P. Metelsky, P.I. Busel; applicant and patent holder Closed Joint Stock Company Stroyizyskaniya, Limited Liability Company Izhgeostroy-M 2011122020/13; declared 05/31/2011; publ. 27.08.2012.

17. Hodakov G.S. Fine grinding of building materials [Tonkoe izmel'chenie stroitel'nykh materialov]. Publishing house of literature on construction 1972, 239 p. (rus)

18. Karibaev K.K. Surfactants in the production of binders [Poverhnostno-aktivnye veshchestva v

proizvodstve vyazhushchih materialov]. Alma-Ata: "Science". 1980, 336 p. (rus)

19. Kotov S.V., Prohorenko K.L. Use of oil refining waste as intensifiers for cement grinding [Ispol'zovanie othodov neftepererabotki v kachestve intensivatorov pomola cementa]. Advances in Chemistry and Chemical Technology DI. Mendeleev. 2010. Vol. 24. No. 6. Pp. 58–61. (rus)

20. Shahova L.D., Cherkasov R.A. Intensification of the clinker grinding process using a grinding intensifier [Intensifikaciya processa izmel'cheniya klinkera s primeneniem intensivatora pomola]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2014. No. 4. Pp. 148–152. (rus)

21. Gluharev N.F. Dry grinding under electrically neutralized conditions [Suhoe izmel'chenie v usloviyah elektronejtralizacii]. SPb. Publishing house of Polytechnic. University, 2014, 192 p. (rus)

22. Sharapov R.R. Closed cycle ball mills: monograph [Sharovye mel'nicy zakrytogo cikla: monografiya]. Belgorod. Publishing house: BSTU im. V.G. Shukhova, 2008, 270 p. (rus)

23. Ivanov A.N., Krot A.Yu., Krot O.P. Reducing the energy intensity of tube mills by pre-grinding [Snizhenie energoemkosti trubnykh mel'nic putem predizmel'cheniya]. National Technical University "Kharkiv Polytechnic University". 2014. No. 7. Pp. 48–54. (rus)

24. Pat 2477659, Russian Federation, IPC B02C 17/20. Ball loading of a drum mill. V.D. Barbanyagra; applicant and patentee State educational institution of higher professional education "Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov". No. 2010121271/13; declared 05/25/2010; publ. 03.20.2013. (rus)

Information about the authors

Borisov, Ivan N. DSc, Professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Stronin, Alexandr A. Postgraduate student. E-mail: alexanderstronin@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 11.04.2021

Для цитирования:

Борисов И.Н., Стронин А.А. Влияние разных ассортиментов двухшаровой мелющей загрузки на производительность шаровой мельницы открытого цикла // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 5. С. 63–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-4-63-70

For citation:

Borisov I.N., Stronin A.A. Influence of different assortment of two-ball grinding load on the performance of an open-cycle ball mill. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 5. Pp. 63–70. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-5-63-70