«…Вопрос техники есть вопрос не о возможных способах действия, а о выгоднейших…»

Проф. В.Д. Мачинский

СЕЛЕКТИВНАЯ ДЕЗИНТЕГРАТОРНАЯ АКТИВАЦИЯ **ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА**

ЭКОНОМИКА АКТИВАЦИИ – ПЕЧАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проблема активации портландцемента с целью повышения его полезных свойств так же стара, как и сам портландцемент. И все же, несмотря на долгие годы теоретических изысканий и натурных опытов отработанной на сегодняшний день методики активации портландцемента, когда бы затраты на ее осуществление не превышали бы затрат на само его производство, не существует. Многочисленные публикации, эксплуатирующие тему увеличения активности портландцемента, в основной массе предлагают методы весьма далекие от реалий практического использования, как в части аппаратного обеспечения, так и в части экономической целесообразности предлагаемых работ. Вместе с тем увеличение активности, а в большинстве случаях просто доработка поступающего на предприятия портландцемента заводского изготовления для приведения его в соответствие с заявленной маркой, в наше время представляется особенно актуальной. Именно сейчас, когда объемы строительства стремительно растут, дефицит портландцемента ощущается особенно остро. В создавшейся ситуации, когда только для поверхностного удовлетворения постоянно растущего спроса, необходимо увеличить производство цемента с 45-53 млн. тонн до 80-90 млн. тонн, даже крупным потребителям приходиться мириться с зачастую крайне низкой изначальной активностью портландцемента и приобретать материал, единственное достоинство которого – наличие на складе.

Острый дефицит портландцемента, став настоящей проблемой современного строительства, приводит к тому, что крупные цементные заводы совершенно не заинтересованы в повышении качества выпускаемой продукции. Ажиотажный спрос обеспечивает отличный сбыт материала сомнительных достоинств и низкого качества. К тому же, многие цементные заводы на сегодняшний день попросту не в состоянии улучшить качество выпускаемой продукции, так как износ основных фондов на конец 1996 года составлял 57 %, а на начало 2006 года уже порядка 70%.

Сейчас ситуация медленно начала меняться, хотя говорить о том, что проблема технического перевооружения отечественных цементных заводов близка к разрешению, не приходиться. Так, по расчетам специалистов, для модернизации и строительства новых цементных заводов необходимы инвестиции в размере 5.1-6.3 млрд. долларов. По данным различных источников, в случае задержки сроков технического переоснащения действующих предприятий цементной промышленности, дефицит цемента к 2010 году превысит 20 млн. тонн.

Подобные прогнозы заставляют серьезно задуматься о перспективах использования портландцемента в строительстве, да и самой себестоимости такого строительства. Если, в настоящее время при достаточно умеренном дефиците, качество цемента, в отдельных случаях, не выдерживает никакой критики, что же случиться когда потребность в данном материале многократно превысит предложение? При этом наращивание объемов производства материала низкого качества не может рассматриваться как выход из сложившейся ситуации. Повышение активности портландцемента позволяет более полно использовать потенциальные возможности вяжущего, и открывает широкие горизонты снижения расхода портландцемента при получении изделий, нормируемых показателей прочности, морозостойкости и т.д. Подобный подход, когда снижение дефицита портландцемента достигается не только благодаря увеличению объемов производства, а в большей степени за счет повышения качества выпускаемой продукции, сокращения потерь при хранении и транспортировки, должен быть признан единственно верным. Тем более что производство цемента не является безупречным в плане воздействия на окружающую среду. Обжиговая карбонатная технология производства портландцемента связанна с большими объемами выбросов в атмосферу CO_2 , что входит в противоречие с международными программами защиты окружающей среды. Одного этого факта вполне достаточно чтобы понять, что проблема нехватки портландцемента требует комплексного решения, когда увеличение объемов производства должно сопровождаться и улучшением качества выпускаемой продукции.

Справедливости ради необходимо отметить, что производители цемента далеко не единственные виновники крайне не эффективного использования сырьевых и энергетических ресурсов в производстве вяжущих материалов. Свой вклад вносят и низкая культура использования цемента в отечественном строительстве, и снижение его активности при неправильном хранении и нехватка качественных заполнителей для бетона, что так же вызывает перерасход цемента.

И все же возвращаясь к вопросу качества отечественного портландцемента приходиться признать что сейчас, когда его нехватка ощущается особенно остро, а техническая вооруженность отечественных цементных заводов еще очень далека от мировых стандартов, было бы наивно надеяться на скорое повышение качества отечественного портландцемента. В этом случае центр тяжести решения данной проблемы, вполне может переместиться от крупных заводов-монополистов к предприятиям строительной отрасли, непосредственно занятым в производстве бетонных изделий и конструкций. Или иными словами, цементные заводы, выпускающие продукцию усредненной активности, могут рассматриваться скорее как поставщики сырья, а не готового продукта требуемых характеристик. В этом свете методика корректировки свойств портландцемента, в том числе и увеличения его активности, адресованная, прежде всего, предприятиям строительной отрасли средней и малой мощности, могла бы кардинально изменить существующую практику использования портландцемента.

Теоретически корректировка основных свойств портландцемента вполне возможна. На сегодняшний день накоплен богатый опыт увеличения активности портландцемента путем повышения дисперсности цементного порошка. Однако, несмотря на впечатляющие результаты лабораторных исследований, данная методика не нашла применения в производстве строительных материалов. Многочисленные попытки внедрения методики активации портландцемента непосредственно на местах его использования, не привели к желаемым результатам, эффект повышения вяжущих свойств портландцемента не покрывал расходов на ее осуществление. Поэтому, когда в начале данной статьи говорилось об отсутствии методики активации портландцемента, имелось в виду не отсутствие возможности активации в принципе, а отсутствие энергопродуктивного способа ее осуществления, когда затраты энергии были бы сопоставимы с полученными результатами. На сегодняшний день именно в этом несоответствии и кроется основная проблема активации портландцемента.

Впечатляющие результаты экспериментов так и не нашли применения на практике, защищенные диссертации и полученные ученые степени не в силах изменить сложившуюся ситуацию, потому что экономическая целесообразность была, есть и будет краеугольным камнем внедряемых в производство инновационных методов. Основной мерой всех технологических процессов всегда являлся не только сам полученный положительный эффект, но и затраты на его осуществление. Таким образом, загадка активации цемента, когда с одной стороны существующие методы позволяют увеличивать его марку с М 400 до М 600-700, а с другой стороны, предлагаемые методы в настоящее время не используются в производственной практике, объясняется очень просто.

Да, действительно, практические возможности повышения вяжущих свойств цемента существуют. Активация цемента в производстве бетонных изделий и конструкций, могла бы в некоторой степени снять проблему его нехватки, улучшить качества выпускаемой продукции, сделать возможным оперативную корректировку основных свойств вяжущих материалов. Однако, на сегодняшний день затраты на проведение активации портландцемента многократно превышают полученную экономическую выгоду от ее осуществления. Только экономической не эффективностью существующих

методов активации, можно объяснить тот глубочайший кризис, в котором в настоящее время пребывает практика использования тонкомолотых вяжущих материалах повышенной активности.

Многочисленные попытки решить проблему получения высокодисперсных вяжущих материалов при снижении удельного расхода энергии, до настоящего времени не привели к успеху, в основном по причине изначально неверно выбранного как самого способа измельчения цементного зерна, так и конструкционно-технологических параметров оборудования.

Сегодня, когда высокая стоимость портландцемента заставляет пересмотреть устоявшуюся практику его использования, на страницах специализированных изданий, сайтах фирм производителей измельчительного оборудования, информационных форумах, тема увеличения активности вяжущих материалов приобретает особую актуальность. Зачастую, предлагаемые методы как относительно новые, так и имеющие многолетнюю историю, оказываются весьма далеки, и от возможности практической реализации, и от экономической целесообразности предлагаемых работ. И причина этого все та же, несоответствие полученных результатов и затраченной энергии. При этом, наиболее часто в обсуждении темы активации цемента упоминается методика увеличения дисперсности цементного порошка или дополнительного помола цемента заводского изготовления, которая объективно является наиболее апробированной как в лабораторных условиях, так и при массовом производстве портландцемента.

Однако, кажущаяся простота метода активации цемента, путем увеличения его дисперсности, таит множество подводных камней, более того, при всей доступности и техническом совершенстве данного метода он никогда и нигде не давал положительных результатов, за исключением лабораторных экспериментов, где экономическая составляющая активации цемента не учитывалась.

При этом помол клинкера является заключительной технологической операцией производства цемента, казалось бы, и его активация должна двигаться в направлении увеличения дисперсности порошка, однако это не так.

Производство больших объемов материала на цементном заводе и активация относительно небольших партий, как и получение порошков удельной поверхности до 3000 см^2/г или более 4500 см^2/г – это технологические операции, предъявляющие совершенно разные требования, как к самой модели разрушения цементного зерна, так и к измельчительному оборудованию, задействованному в работах по активации. Поэтому, и сам метод повышения активности путем увеличения дисперсности, как и измельчительное оборудование, традиционно используемое в производстве цемента, совершенно не подходит для его активации на предприятиях, занятых в производстве бетонных изделий и конструкций. Причина этого, казалось бы, парадоксального утверждения кроется в нелинейном увеличении расхода энергии, затрачиваемой на получение материалов различной дисперсности.

ЦЕНА АКТИВАЦИИ – ВЫБОР СПОСОБА

Все твердые материалы и цементный клинкер в том числе, характеризуются присущим им сопротивлением разрушению, причем на разных ступенях тонкого измельчения сопротивление разрушению различно. Существует общая закономерность, чем меньше размеры частицы, тем выше расход энергии, необходимой для ее разрушения. Так, при помоле цемента в шаровой мельнице до удельной поверхности 3000-3500 см^2/г, ее прирост практически пропорционален затраченной работе (по закону Ритингера). Однако, при более высоких степенях измельчения, когда происходит агломерация тончайших частичек, дальнейший прирост удельной поверхности сопровождается повышенным расходом энергии.

Помимо увеличения расхода энергии, затрачиваемой непосредственно на разрушение цементных зерен, при их помоле выделяется значительное количество тепла, вызывающего нагрев и мелющих тел, и самого измельчаемого материла. Чем выше дисперсность получаемого продукта, тем выше и его нагрев при помоле. Увеличение температуры цементного клинкера при его измельчении, явление резко отрицательное, оказывающее влияние на энергопотребление, производительность и эффективность работы помольного агрегата. Так, по данным С. М. РОЯКА и В. З. ПИРОЦКОГО, на измельчение клинкера до удельной поверхности 2500 см^2/г при температуре 40° С затрачивается около 24 кВт *ч/т, при 120° С – 34 кВт *ч/т и при 150° С – 39 кВт*ч/т. При тонкости помола до 3300 см^2/г с увеличением температуры материала расход электроэнергии еще более повышается (до 130 кВт*ч/т при 150° С).

Таким образом, с точки зрения оптимального соотношения количества затрачиваемой энергии и дисперсности получаемого продукта показатель удельной поверхности на уровне 2800-3000 см^2/г объективно является предпочтительным. К слову можно сказать, что отечественные цементные заводы, выпускающие продукцию достойного качества и дорожащие своей репутацией, домалывают цементный клинкер до означенной цифры и не более того. Происходит это потому, что даже с учетом увеличения активности цемента, повышения его марки, а, следовательно, и цены, дальнейший помол попросту экономически не выгоден. Сама возможность выпуска высокоактивного, быстротвердеющего цемента, удельная поверхность которого более 3500 см^2/г подразумевает использование современного помольного и классифицирующего оборудования, применение технологической схемы замкнутого цикла помола клинкера, а значит серьезную модернизацию действующих цементных заводов. Иначе производство высокоактивного цемента попросту не может быть рентабельным.

Однако данный факт зачастую обходят своим вниманием сторонники метода активации портландцемента заводского изготовления путем его дополнительного помола. Но, если цементному заводу с его большими объемами выпускаемой продукции и агрегатами измельчения высокой мощности, штатом технологов и инженеров, производство высокоактивного портландцемента попросту экономически не выгодно, то, как предприятие средней мощности, с его ограниченными объемами перерабатываемого материала, сможет повысить активность портландцемента заводского изготовления, путем его дополнительного помола, удерживаясь при этом в рамках экономической целесообразности?

И все же способ повышения активности портландцемента, когда затраты на его осуществление относительно не велики существует – это метод селективной дезинтеграторной активации портландцемента.

В основе данного метода лежит комплексный подход как к вопросам выбора оптимальной модели разрушения цементного зерна, возможность корректировки гранулометрического состава цементного порошка и, наконец, аппаратное обеспечение, выполненное на основе промышленно выпускаемого технологического оборудования.

Для того чтобы разобраться с сутью предлагаемого метода активации портландцемента, прежде всего, необходимо понять какие факторы оказывают основное влияние на свойства минеральных вяжущих веществ, и с помощью какого оборудования данный метод может быть реализован на практике наиболее эффективно.

ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Хорошо известно, что многие свойства портландцемента, в том числе, его активность, скорость твердения и др., определяются не только химическим и минералогическим составом клинкера, но и в большой степени тонкостью помола продукта, его гранулометрическим составом и формой частичек порошка.

Цементный порошок в основном состоит из зерен размером от 5-10 до 30-40 мкм. Обычно тонкость помола портландцемента характеризуют остатками на ситах с размером ячеек в свету 0,2; 0,08, а иногда и 0,06 мм, а также удельной поверхностью порошка. Портландцемент рядового качества измельчают до остатка на сите № 008 5-8 % (по массе), цементы же быстротвердеющие – до остатка 2-4% и меньше. При этом удельная поверхность соответственно достигает 2500-3000 и 3500-4500 см^2/г и более. Однако, зависимость между остатком на сите и показателем удельной поверхности цементного порошка достаточно условна. Более того, в случае если помол материала производился не на мельнице истирающего действия, в частности мельнице барабанной шаровой или вибрационной мельнице, а, например, с использованием измельчительного агрегата ударного действия, остаток на сите не имеет никакого отношения к удельной поверхности полученного материала. Соответственно, остаток на сите, как, строго говоря, и показатели удельной поверхности цементного порошка не могут рассматриваться как величины, способные дать реальную картину активности цемента. Можно только отметить, что дисперсность цементного порошка, его зерновой состав, форма зерна, в основном зависят от вида помольного агрегата, применения открытого или замкнутого цикла измельчения, формы и размера мелющих тел, скорости свободного удара при дезинтеграторном способе измельчения и т.д.

Подобные расхождения между реальным положением вещей и многолетней практикой

CYAN MAGENTA YELLOW BLACK

определения качества цемента по его удельной поверхности и массовому остатку частиц размером более 80 мкм объясняется тем, что классическим агрегатом тонкого помола цементного клинкера является шаровая мельница. Поэтому методы определения ожидаемой активности цемента по его остатку на сите и строились исходя из особенности помола методом раздавливания-истирания. Но является ли данный метод измельчения действительно эффективным при активации ограниченных объемов цемента?

НЕМНОГО О ТЕОРИИ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗЕРНА

Рассматривая основные модели разрушения твердых тел, в том числе и цементного зерна, можно выделить два типа разрушающей деформации, которая и вызывает разделение объекта на отдельные элементы. Как при дроблении, так и при тонком измельчении куски или отдельные зерна материалов в различных механизмах разрушения подвергаются преимущественно действию сжимающих сил с двух сторон (например, в щековых, конусных и других подобных дробилках, барабанных шаровых и вибрационных мельницах) или с одной стороны (например, в мельницах струйных, дезинтеграторах или ударно-отражательных дробилках). В результате воздействия сжимающих сил в кусках и зернах материала возникают напряжения, приводящие, при достижении предельных значений, к разрыву, с образованием более мелких частиц. Объективно, для разрушения твердых тел деформация сдвига со смещением (действие сжимающих сил с одной стороны) является более предпочтительной, нежели деформация сжатия, осуществляемая в результате действия сжимающих сил с двух сторон. Это объясняется, прежде всего, тем, что большинство материалов, используемых в производстве минеральных вяжущих веществ, характеризуются прочностью на сжатие, в 6-12 раз превосходящей прочность на растяжение. Поэтому, при их измельчении с использованием помольных агрегатов, реализующих модель разрушения на основе деформации сжатия, энергии расходуется во много раз больше, чем необходимо по расчетам. Наиболее ярким представителем помольных механизмов двухстороннего нагружения, являются барабанные шаровые мельницы, а также мельницы вибрационные. Так вот, в шаровых мельницах на полезную работу измельчения расходуется не более 1,5-10 % всей подводимой энергии. Остальная часть энергии переходит в безвозвратно теряемое тепло или другими словами расходуется впустую. Но именно этот тип помольного оборудования в настоящее время наиболее широко используется в производстве цемента, как на этапе подготовки сырьевых компонентов, так и при окончательном помоле клинкера.

Но если шаровые мельницы реализуют явно не оптимальную модель разрушения, а их коэффициент полезного действия так вызывающе мал, чем же тогда можно объяснить тот факт что, данный тип помольного оборудования получил настолько широкое распространение. Ответ заключается в особой специфике производства цемента связанной с большими объемами перерабатываемых материалов. В данном случае выбор помольного агрегата в большой мере определяется необходимой дисперсностью продукта, а также надежностью и простотой обслуживания оборудования. И шаровые мельницы являются признанной классикой производства цемента, вовсе не из-за выдающихся показателей эффективности измельчения или оптимального расходования подводимой энергии, совсем наоборот. В настоящее время существуют помольные агрегаты, например мельницы ударного действия, в которых расход электроэнергии на единицу измельчаемого материала почти в два раза ниже по сравнению с барабанными шаровыми мельницами. Однако именно шаровые мельницы обеспечивают получение больших объемов тонкодисперсных материалов при достаточно высоких показателях технической надежности оборудования. В настоящее время никакое другое помольное оборудование не может конкурировать с шаровыми мельницами в деле переработки больших объемов материалов, и производственная практика это лишний раз подтверждает.

Но производство портландцемента, когда высокие затраты на его изготовление в некоторой степени компенсируются большими объемами производства, это не повышение активности ограниченных партий. Применение барабанных шаровых мельниц в производстве портландцемента это, прежде всего, пример удачного найденного баланса между дисперсностью продукта, расходом энергии и технической надежностью оборудования.

Экономическая эффективность применения агрегатов измельчения различной конструкции, прежде всего, зависит, от требуемой дисперсности продукта и затрат на ее достижение. И в случае, если активация портландцемента заводского изготовления проводиться на местах его непосредственного использования, например на предприятии по выпуску ЖБ изделий и конструкций, именно от правильно выбранного типа агрегата измельчения будет зависеть экономическая целесообразность работ по активации портландцемента. В этой связи обработка ограниченных объемов портландцемента с использованием помольного оборудования, реализующего модель разрушения-деформации сжатия, экономически бессмысленно. Иными словами, барабанные шаровые мельницы, традиционно используемые в производстве портландцемента для получения материала требуемой дисперсности, не могут быть использованы при его активации. Причина этого, снижение эффективности измельчения и повышение энергопотребления при попытках увеличить дисперсность продукта сверх определенного значения. Отсутствие действующих линий активации портландцемента (лабораторное оборудование производительностью 10-500 кг/ч, в расчет не принимается) лишний раз подтверждает бесперспективность метода увеличения дисперсности цементного порошка путем его дополнительного помола в установках двухстороннего нагружения – шаровых мельницах.

Справедливости ради необходимо отметить, что пути повышения эффективности измельчения, увеличения производительности и снижения энергопотребления шаровых мельниц существуют, более того они достаточно давно и успешно используются в практике производства высокоактивного быстротвердеющего цемента.

ПОМОЛ ЦЕМЕНТА В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ

Выше мы рассматривали особенности работы шаровых мельниц различного способа побуждения мелющих тел (мельницы барабанные и вибрационные), работающих в открытом цикле и осуществляющих помол материала «на проход». Шаровые мельницы с вибрационным побуждением мелющих тел, работающие по открытому циклу, в настоящее время наиболее часто рассматриваются как агрегаты активации портландцемента. Суть технологической схемы открытого цикла помола, заключается в том, что независимо от способа загрузки и выгрузки измельчаемого материала (мельницы непрерывного либо циклического действия) за один проход, обрабатываемый материал получает требуемую дисперсность.

Если в мельницу циклического действия загружается сырье, то после определенного времени обработки из мельницы разгружается готовый продукт. Так вот данная схема, так назойливо предлагаемая для активации портландцемента, в производстве цемента используется все реже, так как считается объективно устаревшей. Более того, получение высокодисперсного материала на шаровых мельницах открытого цикла, при сохранении какого либо намека на экономическую эффективность в принципе невозможно.

Обычно шаровые мельницы с открытым циклом измельчения применяют для помола клинкера до удельной поверхности 2500 реже до 3000 см^2/г, в этом случае расход электроэнергии составляет 25-30 кВт*ч/т продукта. Для получения цемента с удельной поверхностью 3000-3500 см^2/г и выше применяют обычно более экономичные мельницы, работающие в замкнутом цикле с воздушными классификаторами, одно- или двухкамерные. Чаще используют помольные установки с двухкамерными мельницами.

Принцип работы шаровой мельницы, работающей в замкнутом цикле следующий: измельченный в шаровой мельнице материал поступает в классификатор, где из него выделяются частицы тех размеров, какие требуются для готового продукта, а более крупные зерна направляются снова в мельницу на дополнительное измельчение. Таким образом, из материала непрерывно извлекаются наиболее дисперсные частички, которым особенно присуще свойство агрегироваться и прилипать к мелющим телам и стенкам мельницы, снижая, таким образом, эффективность помола. Благодаря извлечению высокодисперсных частиц, производительность помольных установок возрастает на 20-30 %, при этом удельный расход энергии снижается на 15-20 %.

На шаровых мельницах с классификатором создается возможность получать высокопрочные быстротвердеющие цементы с удельной поверхностью 3500-4500 см^2/г и более, при пониженном содержании в них тончайших частиц, быстро теряющих активность. Кроме того, в шаровых мельницах с классификатором создаются предпосылки к лучшему охлаждению материала, что, как отмечалось выше, положительно сказывается на его измельчении.

Помольные комплексы, состоящие из агрегатов измельчения и классификации, характеризуются большой маневренностью

в работе и позволяют выпускать цементы с различной тонкостью помола при постоянных загрузках и размерах мелющих тел, что совершенно недостижимо в мельницах с однократным прохождением материала. Требуемую тонкость помола устанавливают соответствующим регулированием работы классификатора. Недостаток этих установок – их большая сложность и стоимость по сравнению с мельницами, работающими по открытому циклу.

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ ПРИ ПОМОЛЕ ЦЕМЕНТА

Рассмотренная технологическая схема помола материалов в замкнутом цикле, хотя и обеспечивает возможность активации портландцемента, себестоимость повышения его активности все равно остается достаточно высокой. Однако это единственный энергопродуктивный способ увеличить активность портландцемента методом повышения его дисперсности. Высокая стоимость подобных работ объясняется, прежде всего, тем, что тонкий помол цементного клинкера является наиболее энергоемким процессом, а увеличение дисперсности цементного порошка не возможно без серьезных затрат энергии. Именно на помол клинкера приходиться до 70 % энергозатрат при производстве цемента.

Вторая причина высокой себестоимости помола портландцемента является низкая эффективность помольного оборудования, реализующего модель разрушения методом двухстороннего нагружения (деформация сжатия). Шаровые мельницы, являясь наиболее яркими представителями помольного оборудования раздавливающе-истирающего действия, при работе с высокодисперсными материалами характеризуются низкой эффективностью, и КПД их составляет в лучшем случае несколько процентов.

Таким образом, для того чтобы кардинально уменьшить себестоимость активации портландцемента, необходимо прежде всего снизить затраты энергии на разрушение цементного зерна. При этом нужно признать, что большое уменьшение затрат энергии могут дать лишь те способы, при которых материалы имеющие прочность на сжатие большую нежели прочность на растяжение, измельчались бы под влиянием прямых разрывающих воздействий на них, а не в результате первоначальных сжимающих сил. Иными словами в работах по активации портландцемента выполняемых на местах его использования, когда объемы перерабатываемого материала относительно невелики (по меркам цементных заводов) экономически целесообразным являются метод ударного разрушения или как его еще называют дезинтеграторный метод.

Так же для снижения себестоимости активации портландцемента, помимо использования более рациональной модели разрушения цементного зерна, необходимо попытаться сократить объемы частиц, подлежащих измельчению. Соответственно, при сокращении количества объектов разрушения, затраты энергии также снижаются, а вместе с ней и уменьшается себестоимость активации.

Как уже говорилось раньше, при прочих равных условиях, чем выше дисперсность получаемого продукта, тем больше энергии необходимо затратить для ее достижения. Другими словами, чем меньше размер частицы, тем больше энергии требуется для ее разрушения, и наоборот, чем крупнее частица, тем меньше энергии требуется для ее разрушения.

В целом сам процесс тонкого помола является весьма энергоемким, и требует повышенных энергетических затрат по сравнению с более грубым измельчением. К тому же, тонкий помол подразумевает повышение интенсивности энергетического воздействия на обрабатываемый материал, что всегда сопряжено с безвозвратной потерей металла из-за износа помольных органов, который тем выше, чем тоньше частицы обрабатываемого материала (при прочих равных условиях). Тончайшие частицы материала препятствуют эффективному разрушению более крупных зерен, снижая производительность помольного оборудования и увеличивая его энергопотребление. Поэтому своевременное удаление из зоны помола частиц, достигших требуемой тонины, обеспечивает повышение эффективности измельчения. В этом случае значительно меньше частиц материала будет подвергаться безрезультатному нагружению, что обеспечивает снижение энергозатрат на трение частиц между собой и исключает их переизмельчение.

ВЛИЯНИЕ ЗЕРНОВОГО СОСТАВ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА

Исследования показывают, что эффективность, помола цементного клинкера, оцениваемая по оптимальному гранулометрическому составу порошка и минимальному удельному расходу электроэнергии, тем выше, чем быстрее и полнее выделяются из материала наиболее тонкие фракции, затрудняющие процесс измельчения. Именно на своевременном удалении частиц требуемого размера и основана технология с использованием замкнутого цикла помола клинкера, обеспечивающая получение высокодисперсного быстротвердеющего портландцемента, удельная поверхность которого составляет 3500-4500 см^2/г и выше.

Однако далеко не вся масса цементного порошка нуждается в дополнительном измельчении при его активации, поэтому разделение исходного продукта по размеру частиц является действенным способом снижения себестоимости активации. Именно по этому работы связанные с повышением вяжущих свойств цемента заводского изготовления необходимо рассматривать как комплекс мероприятий, направленных на увеличения дисперсности цементного порошка за счет корректировки его гранулометрического состава.

Известно, что цементный порошок весьма неоднороден по своему гранулометрическому составу, более того степенью неоднородности во многом определяются его физико-технические свойства, в частности равномерность твердения, прочность на разных сроках твердения и т.д. Разные фракции цементного порошка оказывают влияние на прочность цемента, изменяют его водопотребность, пластичность цементного теста, и, наконец, скорость твердения. В связи с этим ряд исследователей рекомендует характеризовать активность цемента не только по удельной поверхности порошка, но и по зерновому составу. Так, А. Н. ИВАНОВ-ГОРОДОВ полагает, что равномерное и быстрое твердение цемента достигается при следующих зерновых составах:

зерен мельче 5 мкм – не более 20 %, зерен размерами 5-20 мкм – около 40-45 %, зерен размерами 20-40 мкм – 20-25 %, а зерен крупнее 40 мкм – 15-20 %.

Многочисленные исследования, проводившиеся как в нашей стране, так и за рубежом, позволили выявить следующую зависимость между количеством зерен определенного размера и скоростью твердения портландцемента. Так, частицы размерами 0-5 мкм оказывают решающее влияние на рост прочности цементного камня в первые часы твердения. Именно от частиц этого размера напрямую зависят сроки начального схватывания портландцемента. Частицы размером 5-10 мкм влияют на прочность цементного камня в 3-7 суточном возрасте, а фракция 10-20 мкм определяет прочность в 28 суточном и более позднем возрасте. Установлено, что, измельчая один и тот же клинкер и соответственно изменяя долю частиц размером 5-20 мкм в общей массе цементного порошка, можно получать портландцемент марок 600, 700 и 700 БТЦ (аббревиатура БТЦ расшифровывается как – быстро твердеющий цемент).

Таким образом, для повышения активности портландцемента, либо обеспечения возможности регулирования прочности бетонных изделий в разные сроки твердения, достаточно увеличить долю частиц определенного размера в общей массе цементного порошка. Увеличение процентного содержания частиц нужных размеров естественно происходит за счет дополнительного измельчения крупных цементных зерен, которые в достаточном количестве присутствуют даже в высокомарочном цементе, не говоря уже о материале среднего качества. Естественно помол относительно крупных цементных зерен, требует меньших затрат энергии, поэтому его себестоимость, относительно помола тонких частиц, невелика.

ПРИНЦИПЫ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗЕРНА

Для того чтобы реализовать технологию выборочного или иначе селективного измельчения в работах по активации портландцемента, необходимо провести первичную классификацию материала, для выделения «балластной» фракции, состоящей из частиц требуемых размеров, дополнительное измельчение которых не целесообразно.

Термин «первичная» классификация вводиться специально, чтобы отразить суть метода селективного измельчения. Если в производстве портландцемента используется технологическая схема замкнутого цикла измельчения, когда в процессе помола клинкера, частицы требуемого размера извлекаются уже после первичного помола, в этом случае имеет место классификация «вторичная», так как классифицирующий агрегат работает с материалом, прошедшим стадию первичного измельчения. Предлагаемый метод использования «первичной» классификации при активации портландцемента, заключается в том, что классифицирующий агрегат устанавливается перед помольной установкой, что позволяет провести первичное разделение

CYAN MAGENTA YELLOW BLACK

поступающего на помол материала, а значит выделить цементные зерна нужного размера, исключив их нагружение в помольном агрегате. Частицы, прошедшие классификацию, отправляются в приемный бункер тонкого продукта, частицы не прошедшие классификацию отправляются на помол.

Таким образом «первичная» классификация портландцемента позволяет выделить из основной массы цементного порошка от 30 до 60 % частиц, дальнейшее измельчение которых не только экономически нецелесообразно, но и вредно по причине их переизмельчения ! Удаление «балластной» фракции из основной массы активируемого цемента позволяет снизить требования к размольной мощности агрегатов измельчения и использовать измельчительное оборудование, производительность которых по помолу ниже, чем общая производительности технологической линии активации портландцемента, что было совершенно не возможно при старых схемах активации.

Однако, сама по себе «первичная» классификация, хотя и позволяет в значительной степени уменьшить нагрузку на помольный агрегат, как в части снижения объемов перерабатываемого материала, так и в части требований к дисперсности получаемого продукта, это еще не сам метод селективной дезинтеграторной активации портландцемента, а только его составляющая.

В принципе для дополнительного помола выделенной фракции можно использовать помольные агрегаты различной конструкции в том числе и мельницы барабанные шаровые и мельницы вибрационные, но эффект активации портландцемента в этом случае будет не полным, применение агрегатов измельчения ударного действия будет в любом случае предпочтительным. Причина этого заключается в том, что шаровая мельница, является помольным агрегатом, характеризуемым крайне низкой избирательностью измельчения.

Для продукта измельчаемого методом раздавливания-истирания (модель разрушения -деформация сжатия) свойственен весьма разнообразный гранулометрический состав, который представлен мелкими (переизмельченными), частицами (<5мкм), частицами основной «товарной» фракции (5-40мкм) и крупными частицами, размер которых в десятки раз превышает размер частиц «товарной» фракции. При этом процентное отношение частиц каждой фракции изменяется в зависимости от вида мельницы, применения открытого или замкнутого цикла измельчения, размера мелющих тел, а также от формы бронеплит в шаровых мельницах, соотношения между длиной и диаметром мельниц, степени заполнения камер мелющими телами и целого ряда других факторов.

В случае, когда шаровая мельница используется для активации портландцемента, независимо от гранулометрического состава исходного материала, конечный продукт будет представлен тремя основными фракциями, которые будут состоять из переизмельченных частиц, средней фракции и крупных частиц.

При увеличении интенсивности воздействия мелющих тел на обрабатываемый материал, содержание переизмельченных частиц в порошке будет достаточно быстро увеличиваться, при этом, переход крупной фракции в среднюю будет происходить более медленно. Отсюда можно сделать вывод, что при дополнительном помоле высокодисперсных порошков на шаровой мельнице, «товарная» фракция, представленная частицами среднего диапазона размеров в результате переизмельчения переходит в мелкую фракцию, содержащую тонкие частицы, в то время как процентное содержание в порошке частиц крупной фракции в процессе помола изменяется достаточно медленно.

ИЗМЕНЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ЦЕМЕНТНОГО ПОРОШКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ПОМОЛЬНОГО АГРЕГАТА

Низкая избирательность измельчения, которая в целом характерна для шаровых мельниц, не зависимо от способа побуждения мелющих тел (мельницы барабанные, вибрационные, планетарные, эллиптические -центробежные), усугубляется отсутствием возможности регулирования гранулометрического состава получаемого продукта в плане уменьшения размеров частиц средней, наиболее важной фракции цементного порошка. Так как, истирающий помол – это, прежде всего крайне разнообразный зерновой состав, процентное отношение основных фракций в готовом продукте не зависит от дисперсности исходного материала. При попытках уменьшить размер частиц средней фракции скажем с 40 до 20 мкм (не увеличить показатели удельной поверхности, а именно уменьшить средний размер частиц), в результате неизбирательного раздавливающе – истирающего помола, попутно измельчается весь размерный ряд цементных зерен. Верхняя часть средней фракции переходит в тонкий переизмельченный класс цементных частиц, а измельчаемые крупные зерна не успевают компенсировать потерю средней фракции. В результате на фоне увеличения удельной поверхности цементного порошка фиксируется сокращение доли частиц наиболее важных размеров 10-20 мкм. И чем интенсивней истирающее воздействие, тем больше показатели удельной поверхности цементного порошка, а вместе с этим и больше тонких частиц, и тем меньше частиц средней фракции требуемого размера. Получается замкнутый круг, если интенсивность истирающего воздействия недостаточна, в цементном порошке не удается уменьшить процент частиц крупных, если напротив избыточна, происходит пополнение массы тонких частиц в основном за счет измельчения частиц средних.

Учитывая, что для равномерного твердения цементного камня помимо мелкой фракции (5-10 мкм), оказывающей определяющее влияние на рост прочности в начальные сроки твердения, также необходима и фракция средняя (10-20 мкм), которая определяет прочность цемента в первые недели и месяцы набора прочности. Отсутствие возможности повлиять на гранулометрический состав цементного порошка при помоле на шаровой мельнице, практически не оставляет надежды на получение материала, повышение активности которого в начальные сроки твердения не оборачивалось бы снижением прочности и морозостойкости в последующем.

Неоднородность зернового состава порошка, полученного в результате измельчения методом истирания, также подтверждает и устоявшаяся практика определения удельной поверхности цементного порошка по остатку на сите № 008. Так, остаток 5-8% (по массе), характерен для цемента, измельчаемого на шаровой мельнице, удельная поверхность которого 2500-3000 см^2/г. Даже быстротвердеющий высокомарочный цемент с удельной поверхностью 4500 см^2/г обычно имеет 2-5% частиц размерами более 80 мкм.

Метод ударного измельчения цементного зерна, напротив характеризуется достаточно узкой гранулометрией, процентное содержание в порошке частиц средней фракции при измельчении материала методом свободного удара гораздо выше, нежели при других способах помола. Поэтому, основной прирост прочности цемента, активированного ударным методом, наблюдается не в первые часы твердения, а спустя 3-7 суток. Что объясняется, прежде всего, высокой избирательностью измельчения методом свободного удара.

При ударном, или как его еще называют дезинтеграторном измельчении цементного зерна, гранулометрия получаемого продукта в основном зависит непосредственно от скорости свободного удара. Так, для разрушения цементного зерна, в зависимости от его размера, необходима строго определенная энергетика ударного воздействия. Чем выше скорость помольного органа (для дезинтегратора, центробежно-ударной мельницы) или скорость самой разрушаемой частицы (для струйной мельницы), тем меньше размер частиц в готовом продукте. Учитывая высокую гранулометрическую однородность материала, полученного в результате ударного измельчения, можно сделать вывод о самом характере такого измельчения.

Если при истирающем помоле разрушающее воздействие помольных органов отражается на всем ассортименте размеров частиц, то при ударном измельчении разрушаются лишь те частицы, размер которых соответствовал интенсивности ударного воздействия. Или другими словами, при недостаточно мощном ударе, измельчаются только относительно крупные, малоактивные цементные зерна, не домолотые заводскими шаровыми мельницами. Если скорость удара будет увеличена, начнется разрушение «хвостов» средней фракции, если скорость удара еще повыситься начнется уменьшение размеров средней, а затем и верхней части «средней» фракции и так далее.

Многочисленные опыты показали, что у портландцемента, имеющего остаток на сите № 008-20%, в результате дезинтеграторного измельчения и как следствие выравнивания зернового состава средней части, частицы размерами более 80 мкм переходят в среднюю фракцию с размерами частиц менее 40 мкм. Иными словами, крупные неактивные цементные зерна в результате ударного измельчения, переходят в активную среднюю фракцию, оказывающую основное влияние на прочность цементного камня в первые дни, недели и месяцы его твердения.

Именно высокая избирательность дезинтеграторного измельчения обеспечивает возможность получения активированного портландцемента средних показателей

удельной поверхности, но с полным отсутствием остатка на сите № 008, и чрезвычайно малым остатком на сите № 006.

Соотношение основных фракций цементного зерна после помола наглядно демонстрируют прилагаемые гистограммы, позволяющие определить процентное содержания частиц различных размеров в цементных порошках сопоставимой удельной поверхности, но полученных на разных помольных агрегатах.

Как видно из представленных ниже гистограмм, главное отличие порошков, полученных на разных помольных агрегатах, это процентное отношение основных фракций. Материал, помол которого производился на шаровой мельнице, характеризуется относительно большим количеством тонких частиц размерами менее 5мкм, и высоким содержанием крупных зерен размерами более 40 мкм.

При этом главной проблемой повышения содержания тонкой фракции в следствии переизмельчения цементного зерна, является даже не снижение производительности помольного оборудования и не повышение расхода энергии, затрачиваемой для бесцельного сверхтонкого помола. Тонкие частицы, размером менее 5 мкм, большое количество которых образуется при раздавливающе-истирающем измельчении, способны снизить прочность цементного камня. Именно из-за переизмельчения цементного зерна в ряде случаев активность портландцемента, в результате дополнительного помола, не только не увеличивается, а наоборот снижается.

ПРИЧИНЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ ПЕРЕИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ЗЕРНА

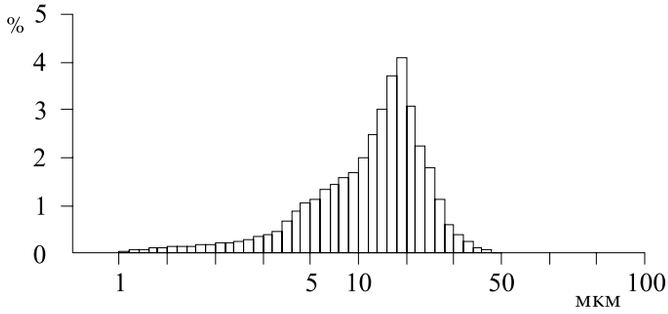
Хорошо известно, что чрезмерное измельчение цементного зерна не всегда целесообразно, а при определенных условиях совершенно не допустимо, так как частички 1-3 и даже 5 мкм быстро гидратируются влагой воздуха уже при кратковременном хранении цементов на складах, что значительно снижает активность материала. В случае если активация портландцемента проводиться на местах его использования, что исключает его длительное хранение, переизмельчения цементного зерна также необходимо избегать, так как высокодисперсные частицы размерами менее 5 мкм при затворении цемента водой гидратируют настолько быстро, что практически не участвуют в последующем его твердении. В результате высокодисперсные частицы, на получение которых была затрачена львиная доля подведенной энергии, в твердеющем цементном камне играют роль мелкого заполнителя, так как их гидратация закончилась задолго до начала гидратации частиц более крупных. Именно по этому, для того чтобы обеспечить равномерное и быстрое твердение цемента, содержание частиц размерами менее 5 мкм не должно превышать 20%. В противном случае эстафета равномерного твердения при строго последовательной гидратации цементных зерен необходимых размеров, будет нарушена, что негативно скажется на прочности цементного камня, либо бетонного изделия.

Еще раз, возвращаясь к вопросу оптимального гранулометрического состава цементного порошка, хотелось бы отметить, что большинство разочарований практическими возможностями активации портландцемента, происходит тогда, когда основным способом увеличения его активности, избирается метод повышения дисперсности. В случае если помольным агрегатом выступает вибрационная мельница, результаты такой активации очень легко прогнозируются. При интенсивном помоле цементного порошка с использованием мельницы раздавливающе-истирающего действия, его гранулометрический состав изменяется. Средняя фракция представленная частицами 10-40 мкм, которая и определяет прочность цементного камня в первые недели и месяцы, в результате переизмельчения переходит в разряд частиц размером менее 5 мкм. При затворении полученного «активированного» цемента водой, сначала фиксируется небывалый рост прочности, которая обеспечивается за счет быстрой гидратации тонких частиц. Именно этот эффект часто принимается, а потом и выдается за активацию цемента. Вслед за лавинообразным набором прочности цементного камня наступает период стабилизации, а затем и снижение прочностных показателей. Перевод средней фракции цементного зерна в мелкую фракцию, попросту лишает начавшийся рост прочности цементного камня логического продолжения. За тонкими частицами практически сразу же начинаются более крупные цементные зерна, что не позволяет добиться равномерного набора прочности на протяжении всего срока твердения. Таким образом, средняя, наиболее полноценная фракция часто бывает принесена в жертву эффекта «псевдоактивации» портландцемента.

Итак, цементный порошок, получаемый в шаровых мельницах любого способа побуждения мелющих тел, характеризуется широким зерновым составом, при этом процентное содержание основных фракций цементного зерна не поддается оперативной регулировке. В то же время, при активации портландцемента совершенно необходимо получение материала узкой гранулометрии именно средней фракции (10-40 мкм), которая должна пополняться в результате измельчения крупных, малоактивных цементных зерен. В этой связи, только при использовании агрегатов измельчения ударного действия, таких как дезинтеграторы, центробежно-ударные мельницы и т.д., становиться возможным повышение активности цемента наиболее рациональным способом.

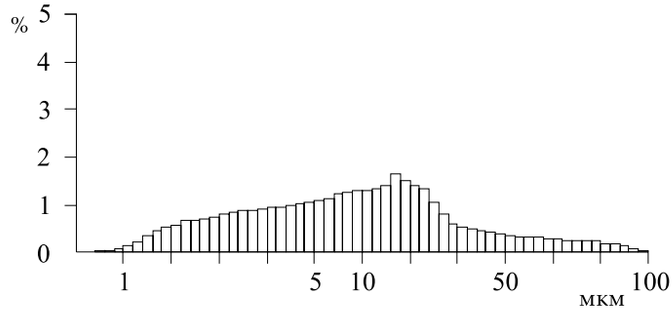
ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ АКТИВАЦИИ ОТ ЭНЕРГЕТИКИ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ

Для эффективного измельчения цементного зерна дезинтеграторным методом, основное значение имеет энергетика свободного удара. Суммированная скорость помольных органов, либо самой разрушаемой частицы должна составлять не менее 200 м/с, что обеспечивает увеличение удельной поверхности цементного порошка на 30-50% от его исходных показателей. При этом содержание частиц от 5 до 40 мкм в активированном цементном порошке может достигать 98 %, а содержание частиц менее 5 и крупнее 40 мкм, будет гораздо ниже по сравнению с цементом, измельчаемом на шаровой мельнице. Именно с низким содержанием тонких



Гистограмма 1 – *Количество частиц данного размера порошка, дезинтеграторного измельчения (V_{max} = 160 м/с)*

Размер частиц, мкм	Процентное содержание в порошке, %	Размер частиц, мкм	Процентное содержание в порошке, %
≤ 1 мкм	0.68	≤ 10 мкм	24.43
≤ 2 мкм	5.23	≤ 20 мкм	55.08
≤ 3 мкм	8.36	≤ 30 мкм	82.58
≤ 4 мкм	11.13	≤ 40 мкм	94.01
≤ 5 мкм	14.11	≤ 50 мкм	98.71



Гистограмма 2 – *Количество частиц данного размера порошка, измельченного на шаровой вибрационной мельнице*

Размер частиц, мкм	Процентное содержание в порошке, %	Размер частиц, мкм	Процентное содержание в порошке, %
≤ 1 мкм	1.75	≤ 10 мкм	32.13
≤ 2 мкм	9.31	≤ 20 мкм	46.38
≤ 3 мкм	15.06	≤ 30 мкм	59.10
≤ 4 мкм	22.58	≤ 40 мкм	63.09
≤ 5 мкм	28.37	≤ 50 мкм	73.32

CYAN MAGENTA YELLOW BLACK

частиц связаны трудности в определении ожидаемой активности цемента, особенно при использовании классических методов контроля ориентированных, прежде всего, на работу с порошками, получаемыми на шаровых мельницах. Даже когда площадь новых поверхностей, приращенных в результате ударного измельчения, достаточно велика, показатели удельной поверхности, измеряемые по скорости прохождения через материал воздуха, изменяются не значительно. Хотя гранулометрический состав цементного порошка дезинтеграторного помола, меняется самым кардинальным образом.

При общем сохранении количества тонких частиц, изначально присутствующих в материале, средняя фракция, состоящая из частиц размерами 5-40 мкм, увеличивается с 30-50 до 60-90 %, при этом частицы размерами более 60 мкм в дезинтегрированном цементном порошке практически полностью отсутствуют. И хотя, как говорилось выше, прирост удельной поверхности, фиксируемый приборами, определяющими воздухопроницаемость порошка невелик, практическая активность дезинтегрированного портландцемента гораздо выше, нежели активность портландцемента большей дисперсности, но активированного на шаровой мельнице.

Особенно это различие становиться заметным при определении прочности цементного камня через 7-28 суток нормального твердения. Происходит это по тому, что на показатели удельной поверхности материала, измельчаемого в шаровой мельнице, основное влияние оказывает содержание частиц размерами менее 5 мкм. Поэтому портландцемент, измельчаемый в шаровой мельнице даже при достаточно высоких показателях удельной поверхности, характеризуется большим остатком на сите № 006.

В работах по активации портландцемента очень важно повышать дисперсность цементного порошка путем селективного измельчения достаточно крупных, малоактивных частиц, а не за счет переизмельчения цементного зерна средней фракции. Дисперсность активируемого портландцемента должна увеличиваться благодаря повышению доли частиц размерами от 5 до 40 мкм. Только в этом случае удельная поверхность цементного порошка будет, в какой то мере характеризовать его предполагаемую активность. В случае, когда высокие показатели удельной поверхности достигнуты благодаря увеличению содержания частиц размерами менее 5 мкм, дисперсионный анализ цементного порошка не дает четкого представления о его активности.

ФОРМА ЧАСТИЦ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА АКТИВНОСТЬ ЦЕМЕНТА

Отказ от раздавливающего способа помола в пользу метода дезинтеграторного измельчения, помимо снижения расхода энергии, затрачиваемой непосредственно на разрушение цементного зерна, также позволяет повысить реологическую активность цементного зерна за счет изменения его формы.

Известно, что характер формы и шероховатость поверхности зерен имеют определяющее значение для реологии высокодисперсных систем, что особенно важно, когда речь идет о минеральных вяжущих веществах, в частности о цементе. При этом помимо физических свойств материала, на форму и шероховатость частиц основное влияние будет оказывать непосредственно сам способ их разрушения.

Так, при дроблении или помоле различных материалов ударным методом, полученный продукт характеризуется преимущественно кубовидной формой частиц. Эффект получения кубовидной формы частиц в результате ударного разрушения, давно используется в производстве строительных материалов, например, гранитного и известкового щебня. При этом наибольший интерес представляет щебень, представленный материалом преимущественно кубовидной формой, с содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы не более 15 %. Такой высококачественный щебень используется в строительных конструкциях, при изготовлении бетонных и асфальтобетонных дорожных покрытий.

В результате дезинтеграторного измельчения, цементные частицы также приобретают осколочною или «щебеночную» форму с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, которая способствует их более интенсивному взаимодействию с водой, что в свою очередь позволяет говорить о повышении физико-химической активности цементного зерна.

Для иллюстрации сказанного можно привести результаты опытов Б. В. ВОЛКОНСКОГО, Л. Г. СУДАКАСА, и др. по определению повышенной активности цементов, получаемых помолом клинкеров монадобластической микроструктуры. По их данным в этом случае цементные частички получаются «щебеночной» формы с острыми углами и сильно развитой конфигурацией, благоприятствующей интенсивному взаимодействию их с водой. Такая форма частичек, образующихся при измельчении клинкера монадобластической структуры, является следствием кристаллохимических особенностей исходного клинкера. При измельчении клинкера с гломеробластической структурой получаются округленные, галькообразные частички, что при прочих равных условиях (одинаковые химический состав и тонкость помола) обусловливают пониженную активность получаемого цемента (примерно на 10 МПа).

Исследования, проведенные Ю. И. ДЕШКО, В. И. АКУНОВЫМ, В. Л. ПАНКРАТОВЫМ и др., показали, что при измельчении клинкера в струйной мельнице получаются цементы, активность которых на 7,5-15 МПа выше активности цементов той же тонкости помола, но измельченных в шаровой мельнице. Кроме того, цементы струйного помола отличаются высокой скоростью твердения и, следовательно, переходят в разряд высокопрочных и быстротвердеющих. Особенно эффективно получение с помощью струйной мельницы шлакопортландцемента марок 500 и 600, что объясняется осколочной формой частичек с зазубренными острыми краями, благоприятствующей интенсивному их взаимодействию с водой.

Модель разрушения цементного зерна, реализуемая струйной мельницей и дезинтегратором практически идентична, это деформация сдвига или по-другому разрушение частиц в результате действия сжимающих сил с одной стороны.

Таким образом, сама возможность получения портландцемента, активность которого была увеличена не только в результате повышения дисперсности продукта, но и также благодаря самому способу разрушения цементного зерна, несомненно, является позитивным фактором, способным оказать влияние на баланс энергетических затрат и эффекта увеличения активности цемента.

МЕТОД СЕЛЕКТИВНОЙ ДЕЗИНТЕГРАТОРНОЙ АКТИВАЦИИ

Увеличение доли цементных зерен средней наиболее ценной фракции, как и возможность получения частиц осколочной формы, делает возможным кардинальное повышение вяжущих свойств портландцемента при минимально возможных затратах энергии и эксплуатационных расходов. Селективная «первичная» классификация позволяет удалить «балластную» фракцию из общей массы активируемого портландцемента, при этом граница разделения может изменяться в зависимости от задач активации. Граничная крупность разделения цементных зерен изменяется путем настройки параметров работы воздушного классификатора. Таким образом, становиться возможным уже на стадии активации корректировать основные характеристики портландцемента, такие как, сроки схватывания, пластичность цементного теста, прочность цементного камня и т.д., изменяя их в зависимости от требования конкретного производства.

Возможность изменения граничной крупности разделения цементного зерна в зависимости от его размеров, обеспечивает высокую маневренность при активации цемента низкого качества, и позволяют выпускать активированные цементы заданного гранулометрического состава и требуемой активности.

Теперь, когда отдельные составляющие селективной дезинтеграторной активации портландцемента рассмотрены, можно перейти к общему описанию предлагаемого метода (описание составлено по результатам лабораторных исследований).

Портландцемент низкой активности подается на воздушно-центробежный классификатор, где из общей массы материала извлекается «балластная» фракция, которая представлена частицами определенных размеров. Изменяя граничную крупность разделения частиц по их размеру, количество извлекаемых частиц может варьироваться. Обычно при «первичной» классификации извлекается фракция представленная частицами 0-20 мкм. Если исходный цемент имеет показатели удельной поверхности около 2500-3000 см^2/г и остаток на сите № 008 около 8-10%, то первично отделенная фракция обычно составляет около 30% от общей массы. При этом показатели удельной поверхности цементного порошка «первичной» классификации в среднем составляет 5000-6000 см^2/г.

Цементный порошок, не прошедший классификацию, представлен частицами размерами более 20 мкм и имеет удельную поверхность 1000-1500 см^2/г. Из бункера грубой фракции материал подается в дезинтегратор, либо в агрегат измельчения ударного действия другого типа. Основное требование, предъявляемое к измельчительному оборудованию, используемому при помоле

грубой фракции, это скорость соударения, которая не должна быть ниже 200 м/с.

В результате лабораторных опытов и натурных испытаний установлено, что при более низких скоростях происходит разрушение только достаточно крупных цементных зерен, для измельчения частиц менее 40 мкм, скорость соударения 200 м/с является минимально допустимой.

В результате дезинтеграторного измельчения, грубая фракция цементного порошка получает прирост удельной поверхности около 500-1000 см^2/г, при этом остаток на сите № 008 обычно отсутствует полностью, а остаток на сите № 006 составляет от 1 до 3 %. Таким образом, цементный порошок не прошедший «первичную» классификацию после дезинтеграторного измельчения, характеризуется удельной поверхностью 1500-2500 см^2/г и полным отсутствием частиц размерами более 80 мкм. Анализ гранулометрического состава, проведенный на лазерном анализаторе размера частиц, позволяет говорить о высокой гранулометрической однородности полученного порошка, 95 % которого представлены частицами, размером менее 40 мкм, а 65% – размером менее 20 мкм.

После измельчения, дезинтегрированный цементный порошок смешивается с выделенной «балластной» фракцией. Для равномерного смешивания полученных фракций, можно использовать центрифужный смеситель циклического действия, (данный тип смесителей обычно применяется в производстве сухих строительных смесей), либо смеситель непрерывного действия, оснащенный дозаторами и автоматизированной системой управления подачи компонентов.

Использование весовых дозаторов непрерывного действия с автоматическим управлением, обусловлено необходимостью, строго выдерживать соотношение по массе между «первично» выделенной фракцией и дезинтегрированной частью цементного порошка.

Смешивание цементных фракций, является заключительной технологической операцией метода селективной дезинтеграторной активации. На заключительной стадии производства активированного портландцемента, в процессе перемешивания возможно введение активных минеральных добавок, как природного происхождения, так и на основе технологических отходов производства. Таким образом, для предприятий строительной отрасли, занятых в производстве бетона, ЖБ изделий и конструкций, помимо возможности эффективного повышения активности портландцемента, также открываются широкие перспективы производства шлакопортландцемента, либо портландцемента с гидравлическими добавками.

В настоящее время имеется богатый опыт комплексного производства, как самого портландцемента, так и тонкомолотых минеральных добавок. При этом современная цементная промышленность во все увеличивающихся объемах использует добавки, как природного происхождения, так и искусственные, что лишний раз подчеркивает перспективность их внедрения и в работах по активации портландцемента.

В качестве природных активных добавок в производстве цемента, традиционно используются горные породы, например диатомит, трепел, опока, а также породы вулканического происхождения, например вулканический туф, пепел, пемза, трасс. Сырьем для активных минеральных добавок искусственного происхождения являются побочные продукты и отходы промышленности, такие как, быстроохлажденные гранулированные доменные шлаки, белитовый шлам (отход глиноземного производства), зола-унос (отход от сжигания твердого топлива) и т.д. Широта распространения и низкая стоимость техногенных отходов, потенциально пригодных для применения в качестве активной минеральной добавки, позволяет говорить не только об экономической составляющей их использования, но и рассматривать данную возможность как важный шаг на пути оздоровления экологической обстановки и хозяйского использования огромных запасов так называемых «отходов».

Возможность замещения части цементного клинкера более доступными материалами, помимо снижения стоимости вяжущих материалов, также делает возможным создание цементов со специальными свойствами на основе активированного портландцемента и побочных продуктов различных отраслей промышленности. Особый интерес в настоящее время представляет технология упрощенной схемы производства быстротвердеющего портландцемента (БТЦ) с минеральными добавками, который отличается от рядового портландцемента повышенной прочностью через 3 суток твердения. Еще один метод ускорения сроков схватывания и твердения гидравлических вяжущих веществ заключается во ведение добавок, являющихся центрами кристаллизации. Такой добавкой может являться измельченный гидратировавший цемент, отходы производства бетонных изделий и т.д.

ПЕРСПЕКТИВЫ АКТИВАЦИИ

Научно-технический прогресс – это непрерывный процесс получения новых знаний и применения их в производственной деятельности человека. Открытия и изобретения, новейшие методы организации и управления производством, основанные на ранее не известных возможностях соединения и комбинации, имеющихся ресурсов в интересах увеличения выпуска высококачественной продукции при наименьших затратах на ее производство. В настоящее время, экономическое состояние предприятий строительной отрасли во многом зависит, от восприимчивости их руководства к последним достижениям техники и технологии, позволяющим обеспечить выпуск высококачественных, конкурентоспособных товаров, при максимально эффективном использовании материальных и природных ресурсов.

Практическое решение важнейшей задачи активации портландцемента, требует проведения целого ряда мероприятий. Прежде всего, речь идет о применении наиболее эффективных в технико-экономическом отношении способов повышения вяжущих свойств цемента, без негативных последствий для его эксплуатационных характеристик, таких как долговечность, морозостойкость, водопоглощение и т.д.

Однако, в настоящее время, производство высокомарочных быстротвердеющих цементов в нашей стране находиться в зачаточном состоянии. Помимо отсутствия, как самой концепции, так и отработанных методик, сложность работ по активации цемента заключается в том, что задействованное технологическое оборудование, работает в условиях интенсивного воздействия разрушающих факторов – высокой абразивности перерабатываемых материалов, огромных удельных нагрузок, высоких температур и запыленности. В этих условиях основной задачей является не только получение положительных результатов повышения вяжущих свойств цемента, но и обеспечение надежности работы каждого элемента технологической линии.

Вместе с тем, существующие технологические схемы, используемые в производстве цемента, в целом отвечают требованиям технической надежности оборудования, высокие энергетические и эксплуатационные затраты на активацию вяжущих материалов не компенсируются полученным экономическим эффектом.

Широко используемые для помола клинкера шаровые мельницы, характеризуются высокой материало- и энергоемкостью, а также низкой избирательностью разрушения цементного зерна, что не оставляет надежды на их использование в работах по активации цемента. В этой связи наибольший интерес представляют методы, обеспечивающие снижение энергозатрат, а значит и уменьшения себестоимости производства высокопрочных быстротвердеющих вяжущих материалов. Снижение энергозатрат при активации цемента, обеспечивается применением принципиально новых технологических схем, позволяющих уменьшить объемы измельчаемого материала в результате «первичного» селективного разделения и выборочного помола наиболее рациональным методом.

Замещение одного из наиболее энергоемких процессов производства (и активации) цемента – тонкого помола, гораздо менее напряженными технологическими операциями, такими как классификация, транспортирование, осаждение и пылеулавливание, позволило совершенно по новому взглянуть на перспективы оперативного повышения полезных свойств цемента на местах его непосредственного использования.

А.Б.ЛИПИЛИН,
гл. инженер ООО «СтройМеханика»,
руководитель ИТП «ТехПрибор»,
Н.В. КОРЕНЮГИНА,
инженер-технолог ООО «СтройМеханика»,
М.В.ВЕКСЛЕР,
инженер, ведущий специалист
ИТП «ТехПрибор» (Тула)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. БУТТ Ю.М. «Быстротвердеющий портландцемент», Сборник трудов по химии и технологии силикатов. Москва.1957. С. 199
2. ВОЛЖЕНСКИЙ А.В. «Минеральные вяжущие вещества», Учеб. для вузов.- 4-е изд. Стройиздат.1986. С. 186-201.
3. ХИНТ И.А. «Основы производства силикальцитных изделий», Госстройиздат.1962. С.503.
4. ВОЛЖЕНСКИЙ А.В., ПОПОВ Л.Н. «Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе», Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. 1961. С. 107.

CYAN MAGENTA YELLOW BLACK