

## **ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОМОЛА НА СТРОИТЕЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА**

**Артамонов А.В., Гаркави М.С., Каменщикова Е.В. (Магнитогорский государственный технический университет)**

Дефицит цемента в стране ставит под угрозу выполнение национального проекта «Доступное жилье». Этот дефицит может быть в значительной степени уменьшен за счет использования клинкера, поставляемого из Китая или Турции, а производство цемента может быть реализовано на помольно-смесительных установках.

Одним из определяющих факторов регулирования строительно-технических свойств цемента является его зерновой состав, который оказывает влияние на водопотребность, скорость твердения и прочность цементного камня. Зерновой состав цемента зависит от способа его помола – схемы измельчения и типа измельчителя.

Эффективность применяемых в настоящее время при помоле цемента шаровых мельниц достаточно низкая: только 3...6% подаваемой электроэнергии идет на измельчении материала. Остальная часть в форме тепла, вибрации и шума просто теряется. Возможность снижения энергопотребления при помоле цемента достигается при применении центробежно-ударных мельниц, разработанных НПА «Урал-Центр», которые широко используются при измельчении различных материалов.

Целью настоящей работы является изучение влияния способа помола цемента на его строительно-технические свойства. Для получения цементов в работе использовался клинкер Магнитогорского цементно-огнеупорного завода и гипсовый камень Дубиновского месторождения (Оренбургская обл.). Измельчение указанных материалов до различной тонины осуществлялось в шаровой мельнице МШ-1 и центробежно-ударной мельнице МЦ-0,36. В шаровой мельнице удельная поверхность и зерновой состав цемента определяется длительностью измельчения, а в центробежно-ударной мельнице – направлением и силой удара.

Удельная поверхность и зерновой состав цементов (определен с помощью лазерного гранулометра «Mastersizer») приведены в таблице 1.

Таблица 1. Удельная поверхность и зерновой состав цементов

| Маркировка цемента | Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг | Содержание частиц, % |            |          | Параметры распределения |                |
|--------------------|--|----------------------|------------|----------|-------------------------|----------------|
|                    |  | 0...5 мкм            | 5...30 мкм | > 30 мкм | n                       | X <sub>e</sub> |
| Ш1                 | 260                                      | 20,1                 | 38,4       | 41,5     | 0,844                   | 33,04          |
| Ш2                 | 324                                      | 24,6                 | 43,2       | 32,2     | 0,880                   | 24,35          |
| Ш3                 | 368                                      | 26,7                 | 45,7       | 27,6     | 0,874                   | 20,9           |
| Ш4                 | 413                                      | 29,1                 | 44,6       | 26,4     | 0,877                   | 17,94          |
| Ц1                 | 223                                      | 12,9                 | 40,1       | 47,0     | 1,049                   | 38,49          |
| Ц2                 | 228                                      | 11,4                 | 36,4       | 52,2     | 1,045                   | 38,34          |
| Ц3                 | 287                                      | 17,7                 | 53,8       | 28,6     | 1,108                   | 24,35          |

Примечание. Индекс Ш- относится к цементам, полученным в шаровой мельнице, а индекс Ц – к цементам, полученным в центробежно-ударной мельнице.

Как следует из таблицы 1, цементы, полученные в шаровой мельнице, характеризуются большей удельной поверхностью, что обусловлено высоким содержанием в них частиц фракции 0...5 мкм. Именно наличие этих частиц и предопределяет высокие значения удельной поверхности цемента. Кроме того, вышеуказанные цементы обладают широким зерновым составом, т.е. в них примерно одинаково содержание частиц как самой мелкой, так и самой крупной фракции. Такой зерновой состав определяет пониженную водопотребность (оценивается по величине нормальной густоты цементного теста) этих цементов по сравнению с цементами, полученными в центробежно-ударной мельнице (таблица 2).

Таблица 2. Водопотребность цементного теста и цементно-песчаного раствора

| Маркировка цемента | Нормальная густота, % | В/Ц<br>цементно-песчаного раствора |
|--------------------|-----------------------|------------------------------------|
| Ш1                 | 24,9                  | 0,39                               |
| Ш2                 | 25,8                  | 0,39                               |
| Ш3                 | 26,3                  | 0,40                               |
| Ш4                 | 26,6                  | 0,40                               |
| Ц1                 | 28,0                  | 0,39                               |
| Ц2                 | 28,1                  | 0,39                               |
| Ц3                 | 29,3                  | 0,39                               |

Высокая водопотребность цементов центробежно-ударного измельчения обусловлена их узким зерновым составом, и следовательно, большей межзерновой пустотностью, а также одинаковой формой частиц. Кроме того, как показано в [1], в таких цементах увеличивается реакционная способность  $C_3A$  и первые несколько минут гидратации возрастает количество гидратных новообразований. В результате для достижения определенной удобоукладываемости требуется больше воды.

Однако при использовании этих цементов в цементно-песчаных растворах (таблица 2) и в бетонных смесях [2] эти факторы способствуют уменьшению водопотребности указанных смесей. Это, видимо, связано с тем, что содержащийся в этих цементах воздух, способствует улучшению реологических свойств смесей, а при их уплотнении удаляется из них.

Зерновой состав цементов оценивают через коэффициенты уравнения Розина-Раммлера (параметры зернового распределения) [3]. Параметрами зернового распределения являются характеристический размер зерна (параметр  $X_e$ ) и коэффициент равномерности зернового состава (параметр  $n$ ).  $X_e$  – размер зерна в мкм, свыше которого содержится 36,8 % частиц по массе. Таким образом, характеристический размер зерна показывает тонину помола цемента. Коэффициент равномерности зернового состава характеризует степень разброса частиц по размерам. Чем выше параметр  $n$ , тем в более узком диапазоне размеров сосредоточены частицы (узкий зерновой состав). В настоящее время это аналитическое выражение используется многими исследователями для оценки зернового состава цемента.

Из данных таблицы 1 следует, что цементы, полученные в центробежно-ударной мельнице, характеризуются более однородным зерновым составом (большее значение параметра  $n$ ), хотя и имеют меньшую тонкость помола.

Представляет сопоставить свойства цементов, полученных в различных измельчителях и обладающих одинаковой тониной помола (равные значения  $X_e$ ). Согласно данным таблицы 1, это цементы Ш2 и Ц3. Несмотря на одинаковую тонину помола, цемент центробежно-ударного измельчения Ц3 содержит большее количество частиц размером 5...30 мкм. Именно содержание этих частиц определяет активность цемента, и как показали проведенные исследования, указанный цемент имеет активность 39,1 МПа, а цемент, полученный в шаровой мельнице – 37,0 МПа, т.е. эти цементы обладают практически одинаковой активностью. Однако цемент центробежно-ударного измельчения характеризуется большими на 11,5% показателями прочности при изгибе, что важно при применении цементов в дорожном строительстве.

При использовании цементов важное значение имеет кинетика их твердения. На рисунке 1 приведена скорость набора прочности цементного камня при твердении цементов Ш2 и Ц3 в нормальных условиях.

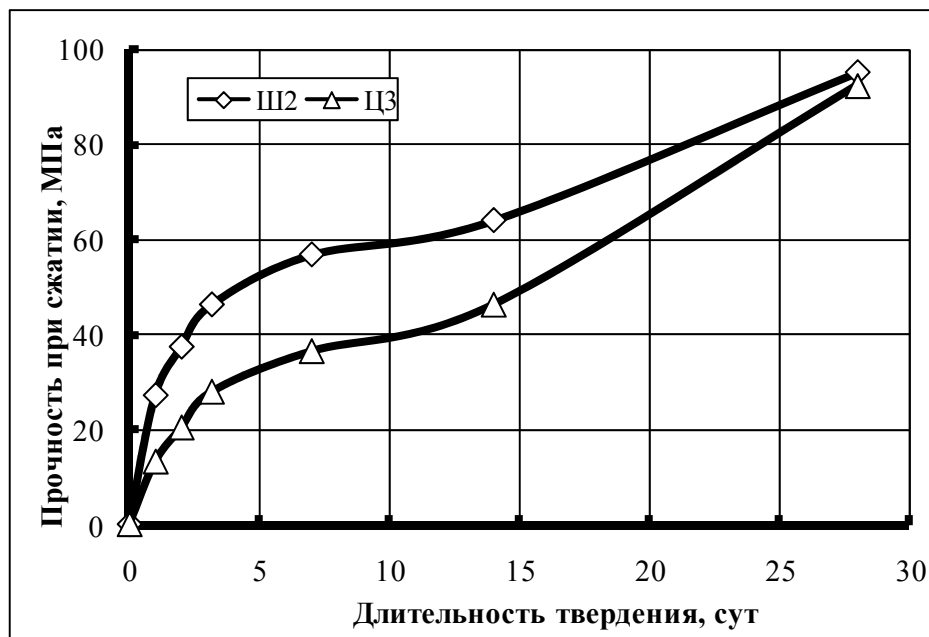


Рисунок 1. Кинетика твердения цемента различного способа помола

Как следует из представленных данных, кинетика роста прочности цементного камня полностью коррелирует с зерновым составом исследуемых цемента. Цемент, полученный в шаровой мельнице и содержащий большее количество частиц размером 0...5 мкм, характеризуется высокой ранней прочностью. Однако к 28 суткам твердения прочностные показатели цемента различного способа помола выравниваются в соответствии с их зерновым составом.

Таким образом проведенные исследования показывают, что цементы центробежно-ударного измельчения по своим строительно-техническим свойствам не уступают цементам, полученным с использованием традиционных способов измельчения. При этом следует отметить, что технология центробежно-ударного измельчения является энергосберегающей. Как показала проведенная технико-экономическая оценка, при получении цемента равной активности использование центробежно-ударной мельницы позволяет на 30% снизить общие удельные энергозатраты по сравнению с традиционной шаровой мельницей.

### Литература

1. Бапат Дж.Д. Повышение качества цемента с использованием современных процессов помола // Цемент и его применение. – 1999. - №2. – С.8-10.
2. Артамонов А.В., Кушка В.Н. Тяжелые бетоны на основе цемента различного способа помола // Строительные материалы. -2008. - № 3. С. 50-51.
3. Rosin P., Ramm1er E. Kornzusammensetzung des Mahlgute in Lichte der Wahrscheinlichkatslehre. - Kolloid Zeitschrift, 1934, Heft 1, Band 67.