

**ПРОЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ  
НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЕ  
С ДОБАВКОЙ ДОМЕННОГО ШЛАКА**

**Щербина О.С.**, ассистент,  
**Барабаш Т.И.**, к.т.н., доцент,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
*olegito4ka@ukr.net*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы влияния механоактивации портландцемента с добавкой доменного шлака на кинетику набора прочности цементного камня. Установлено, что механоактивация позволяет вводить в чистоклинкерный портландцемент 40% молотого доменного шлака, обеспечивая при этом достижение прочности цементного камня, равной прочности на бездобавочном портландцементе, но не подверженного механоактивации, а так же, приводит к резкому повышению коэффициента использования вяжущего. Определен максимальный показатель коэффициента использования вяжущего для составов на механоактивированном портландцементе с добавкой 45 % доменного шлака.

**Ключевые слова:** механоактивация, поликарбоксилатный суперпластификатор, доменный шлак, портландцемент, прочность.

**МІЦНІСТЬ ЦЕМЕНТНОГО КАМЕНЮ  
НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТІ  
З ДОБАВКОЮ ДОМЕННОГО ШЛАКУ**

**Щербина О.С.**, асистент,  
**Барабаш Т.І.**, к.т.н., доцент,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
*olegito4ka@ukr.net*

**Анотація.** Розглянуто питання впливу механоактивації портландцементу з добавкою доменного шлаку на кінетику набору міцності цементного каменю. Встановлено, що механоактивація дозволяє вводити в чистоклінкерний портландцемент 40% молотого доменного шлаку, забезпечуючи при цьому досягнення міцності цементного каменю, що дорівнює міцності на бездобавочному немеханоактивованому портландцементі, а також призводить до різкого підвищення коефіцієнту використання в'язучого. Визначено максимальний показник коефіцієнту використання в'язучого для складів на механоактивованому портландцементі з добавкою 45% доменного шлаку.

**Ключові слова:** механоактивація, полікарбоксилатний суперпластифікатор, доменний шлак, портландцемент, міцність.

**THE STRENGTH OF CEMENT STONE ON  
MECHANICALLY ACTIVATED PORTLAND SLAG CEMENT**

**Sherbina O.S.**, assistant,  
**Barabash T.I.**, PhD, Assistant Professor,  
*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
*olegito4ka@ukr.net*

**Abstract.** Discusses the effect of mechanical activation of Portland cement with slag additive on the kinetics of strength development of cement stone. It is established that mechanical activation allows you to enter in Portland cement and 40% ground blast furnace slag, while ensuring the achievement of strength of cement, equal strength in clear Portland cement, but not affected by mechanical activation, and leads to a sharp increase in utilization of the binder, so an increase in the content of blast furnace slag to 45% leads to an increase in the binder utilization rate by an average of 20-25%. Determined the maximum rate of utilization of the binder for compositions on mechanically activated Portland cement with the addition of 45 % blast furnace slag. It has been experimentally established that mechanoactivation of Portland cement leads to a sharp increase in the coefficient of binder use, and this dependence is visible throughout the entire time interval of hardening of cement stone.

**Keywords:** mechanically activated, polycarboxylate superplasticizer, blast furnace slag, portland cement, strength.

**Введение.** В условиях энергетического кризиса Украины повышение цен на энергоносители приводит к постоянному росту цен минеральных вяжущих веществ и, в частности, портландцемента. Одним из способов снижения расхода портландцемента является введение в его состав доменных гранулированных шлаков [1, 2]. Решая вопрос частичной замены портландцементного клинкера доменным шлаком, технологи сталкиваются с проблемой снижения прочности цементного камня [2, 3].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Среди разнообразных способов повышения прочности цементного камня несомненный интерес вызывает механоактивация вяжущего [4-7].

Одним из достоинств механоактивации является то, что она относительно легко вписывается в существующие технологические схемы получения растворов и бетонных смесей. Перспективным направлением можно считать механическую обработку минеральных вяжущих в трибосмесителе, разработанном в Одесской государственной академии строительства и архитектуры (Барабаш И.В., Щербина С.Н.). В таком трибосмесителе скоростное смешение тонкодисперсных частиц вяжущего и доменного шлака осуществляется в одном турбулентном потоке практически без их разрушения [8-10]. Это позволяет более полно раскрыть потенциальные возможности вяжущих, а также решать задачи повышения качества и снижения материалоемкости материалов на их основе [11].

**Цели и задачи.** Представлял интерес выяснить влияние механоактивации, а также количества молотого доменного шлака (ДШ) в портландцементе на прочность цементного камня.

**Объекты и методы исследований.** В исследованиях в качестве вяжущего применялся портландцемент, получаемый совместным помолом портландцементного клинкера и двуводного гипса в лабораторной шаровой мельнице до  $S_{уд.} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Доменный гранулированный шлак ( $M_o=1,1$ ) размалывался до удельной поверхности  $S_{уд.} = 350 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Содержание доменного шлака в вяжущем колебалось в диапазоне от 30 до 60%. Доменный шлак в требуемом количестве вводился в портландцемент в процессе скоростного смешения суспензии в смесителе-активаторе. Для пластификации цементного теста использовался поликарбоксилатный суперпластификатор в количестве 1% от массы вяжущего. Для контроля использовался бездобавочный портландцемент. Механоактивация цементного теста осуществлялась в скоростном трибосмесителе в течении 90 сек. Прочность цементного камня определялась в возрасте 2-х, 7-ми и 28-ми суток нормального твердения.

**Результаты исследований.** Графические зависимости, приведенные на рис. 1, свидетельствуют о том, что механоактивация позволяет существенно повысить прочность цементного камня, особенно в раннем возрасте. Так, в 2-х суточном возрасте прочность цементного камня, вяжущее которого подвергалось механоактивации, повысилась с 18,9 до 25,9 МПа, т.е. почти на 38%. В возрасте 28-ми суток эффект от механоактивации несколько снижается и составляет 22%. Следует отметить, что механоактивация позволяет вводить в

чистоклинкерный портландцемент 40% молотого доменного шлака, обеспечивая при этом достижение прочности цементного камня, равной прочности на бездобавочном портландцементе, но не подверженного механоактивации.

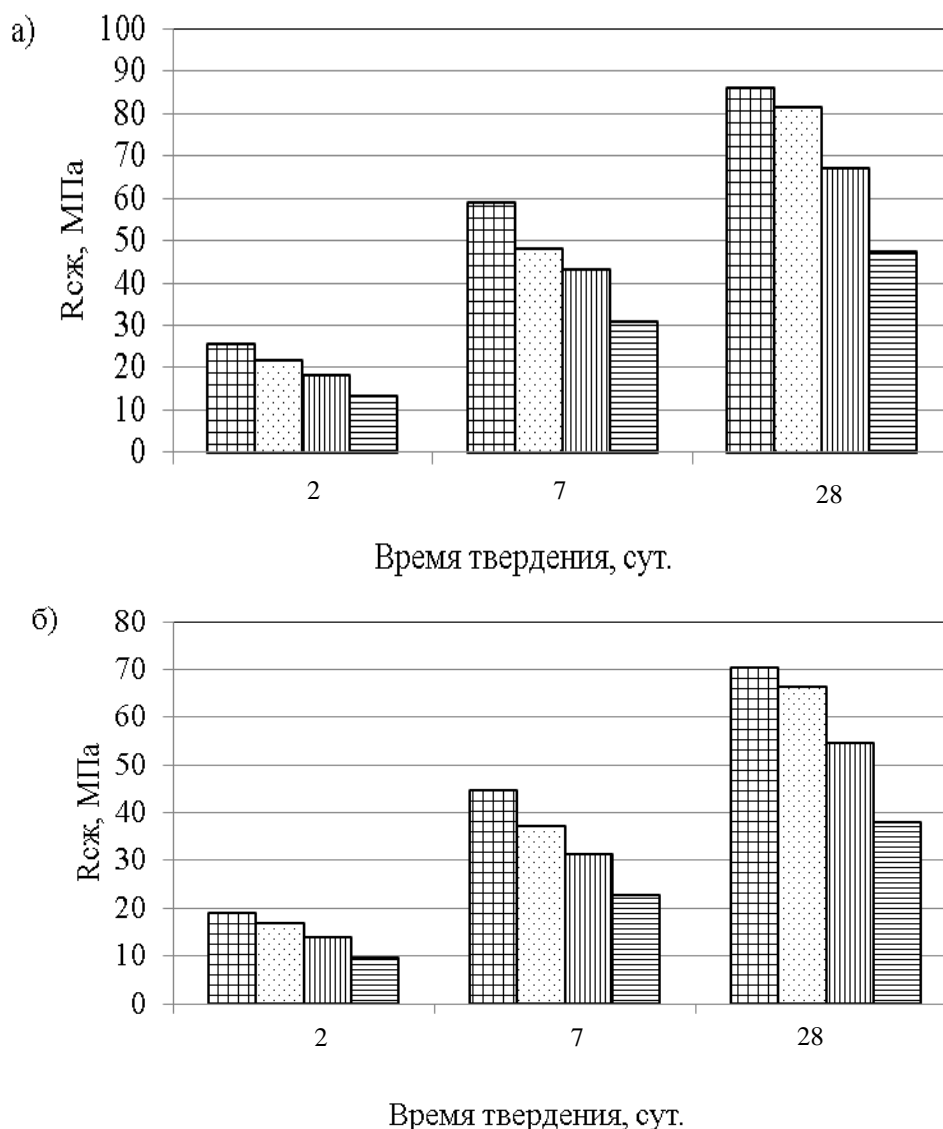


Рис.1. Влияние содержания доменного шлака в смеси на прочность при сжатии цементного камня:

а – механоактивированный портландцемент; б – немеханоактивированный портландцемент

– контроль;
  – содержание ДШ 30%;
  – содержание ДШ 45%;
  – содержание ДШ 60%;

Установлено, что введение в портландцемент доменного шлака в количестве 60% снижает прочность цементного камня в 28-ми суточном возрасте с 70,4 до 38,0 МПа, т.е. более чем в 1,5 раза. В 2-х суточном возрасте прочность цементного камня при введении в ПЦ доменного шлака в количестве от 30 до 60% снижается на 12% и 49% соответственно.

Критерием оценки эффективности использования вяжущего предложено ввести коэффициент использования вяжущего  $M$ , характеризующий отношение величины прочности цементного камня на сжатие (МПа) к расходу вяжущего ( $\text{кг/м}^3$ )  $M = R_{сж}/\rho$ . Смысл принятого коэффициента – в возможности сравнительной оценки принятых технологических

решений. Чем выше значение коэффициента  $M$ , тем эффективнее технология приготовления суспензии, тем качественнее ее состав.

Графические зависимости, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о том, что увеличение содержания доменного шлака в портландцементе от 0 до 45% приводит к повышению коэффициента использования вяжущего в среднем на 20-25%. Последующее увеличение количества вводимого ДШ до 60% приводит к снижению значения коэффициента  $M$ . Следует отметить, что такая зависимость просматривается во всем временном интервале твердения цементного камня.

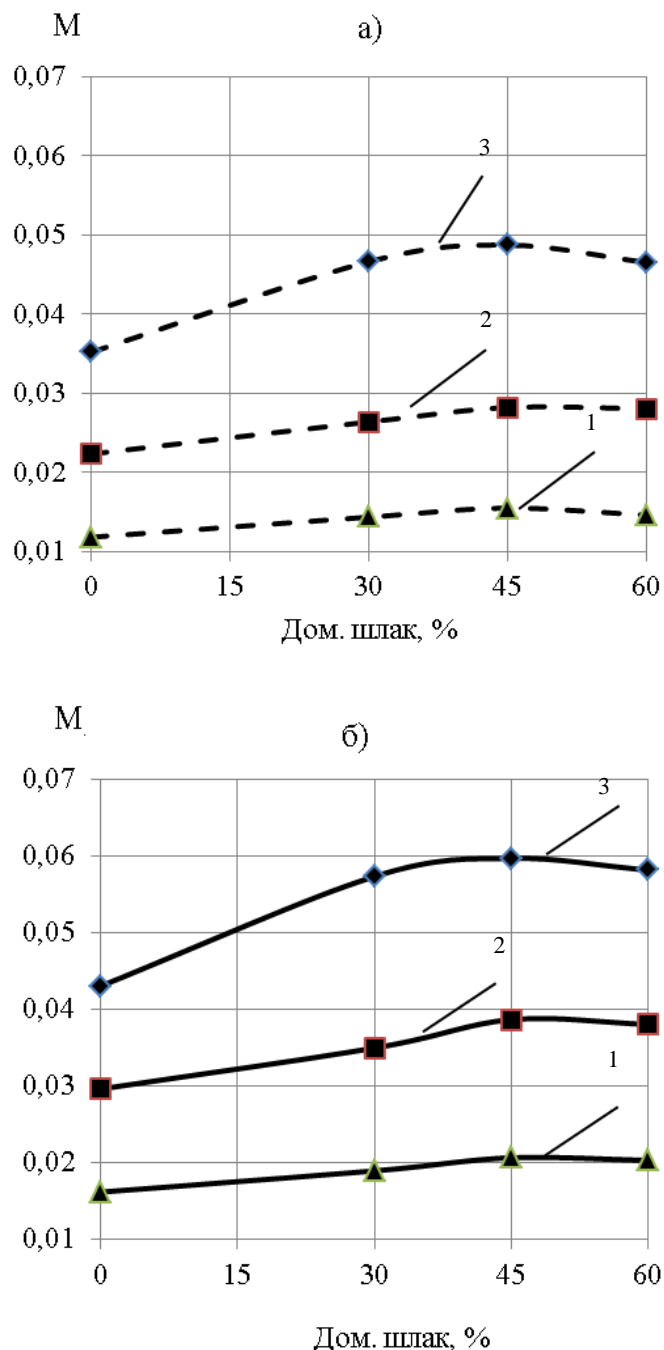


Рис. 2. Коэффициент эффективности использования портландцемента:  
 а – цементный камень на механоактивированном портландцементе;  
 б – цементный камень на немеханоактивированном портландцементе;  
 1, 2, 3 – время твердения цементного камня соответственно 2, 7, 28 суток

Механоактивация портландцемента приводит к резкому повышению коэффициента использования вяжущего.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Установлено, что механоактивация позволяет вводить в чистоклинкерный портландцемент 40% молотого доменного шлака, обеспечивая при этом достижение прочности цементного камня, равной прочности на бездобавочном портландцементе, но не подверженного механоактивации, а также, приводит к резкому повышению коэффициента использования вяжущего.

### Литература

1. Бабич М.В. Шлак в композитном цементе / М.В. Бабич, А.Г. Холодный. – Будівництво і стандартизація, 2008. – №3. – С. 2-6.
2. Хоботова Э.Б. Отвальный доменный шлак как сырьевой компонент производства вяжущих веществ / Э.Б. Хоботова, Ю. С. Калмыкова. – Экология и пром-сть, 2011. – № 1. – С. 35-40.
3. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев [и др.] под ред. В.И. Соломатова. – К.: Будівельник, 1991. – С. 17-20.
4. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин. – Навч. Посібник / І.В. Барабаш. – Одеса: Астропрінт, 2002. – 100 с.
5. Барабаш И.В. Цементные бетоны на механоактивированном вяжущем // И.В. Барабаш, И.Н. Бабий, В.Д. Матковский / Вісник ОДАБА. – 2003. – Вип. 10. – С. 15-19.
6. Федоркин С.И. Использование механоактивации при комплексной утилизации отходов цементного, керамзитового и камнедобывающего производств / С.И. Федоркин, Л.Н. Димитрашук // Тезисы докладов научно-практической конференции «Прогрессивные технологии и машины для производства строительных материалов, изделий и конструкций». – Полтава: ПГСА, 1996. – С. 74-75.
7. Шинкевич Е.С. Возможности реализации механохимических явлений в производстве строительных композитов / Е.С. Шинкевич, Е.С. Луцкий, Г.Г. Бондаренко // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Химия, химическая технология и экология. – Харьков: ХПИ, 2009. – №45. – С.183-188.
8. Барабаш И.В. Механохимическая активация дисперсных систем / И.В. Барабаш, К.А. Стрельцов, Л.Н. Ксеншкевич // Вісник ОДАБА. – Одеса: ОДАБА, 2007. – Вип. №27. – С. 16-21.
9. Барабаш И.В. Влияние концентрации и дисперсности молотого кварцевого песка на процесс гидратации механоактивированных цементных суспензий / И.В. Барабаш, В.Н. Выровой, Т.И. Барабаш // Вісник ОДАБА. – 2004. – Вип. 16.– С. 15-19.
10. Барабаш Т.И. Свойства твердеющих механоактивированных цементных композиций / Т.И. Барабаш, В.Н. Выровой, И.В. Барабаш // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне: РДТУ, 2001. – С.3-7.
11. Влияние ударной обработки на степень механической активации минерального сырья / В.И. Колобердин, В.М. Ражев, Н.А. Путников [и др.] / Разработка теории и конструктивного оформления машин. – Иваново: ИХТИ, 1988. – С. 79-82.

Стаття надійшла 21.04.2017