

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЦЕМЕНТОВ ОБЩЕСТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ\*

*Ф.Л. Капустин, М.А. Афанасьева*

Представлены результаты исследований по использованию гранулированного шлака медеплавильного производства в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки при помоле цемента общестроительного назначения. Изучены состав, свойства и размалываемость медеплавильного шлака, влияние его на продолжительность помола, гранулометрический состав и физико-механические свойства общестроительных цемента.

*Ключевые слова:* медеплавильный гранулированный шлак, минеральная добавка, вспомогательный компонент, цемент, помол, размалываемость, физико-механические свойства.

На металлургических заводах при плавке медных концентратов в отражательных печах и водной грануляции шлакового расплава образуется медеплавильный гранулированный шлак (МГШ), который складывается в отвалах и загрязняет окружающую природную среду. В настоящее время МГШ в незначительном количестве используется на цементных заводах в качестве железосодержащего компонента сырьевой смеси портландцементного клинкера, а также для получения абразивного порошка.

Исследованиями ученых России, Казахстана, Польши и Индии показано, что МГШ можно использовать при помоле общестроительных цемента в качестве минеральной добавки в количестве от 10 до 30 % без существенного снижения активности цемента [1–3]. В соответствии с ГОСТ 31108-2003 в состав общестроительных цемента для улучшения технологии помола или физико-механических свойств допускается введение вспомогательного компонента минеральной добавки в количестве до 5 %. Цель исследовательской работы – установить возможность использования МГШ в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки при помолу цемента общестроительного назначения.

Для получения цемента использовали клинкер ЗАО «Невьянский цементник» ( $KH = 0,92$ ,  $n = 2,07$ ,  $p = 1,25$ ) следующего минералогического состава, %: 60,8  $C_3S$ ; 14,7  $C_2S$ ; 7,4  $C_3A$ ; 13,9  $C_4AF$ . При помолу цемента в качестве основной минеральной добавки применяли доменный гранулированный шлак (ДГШ) 2 сорта ОАО «Мечел», вспомогательного компонента – МГШ ОАО «Святогор», для регулирования схватывания цемента – гипсоангидриновый камень Ергачинского месторождения.

Исследованная проба МГШ имела черный цвет, влажность до 1,0 % и следующий зерновой состав, мас. %: более 5 мм – 1,0; 2,5–5 мм – 4,0; 1,25–2,5 мм – 11,3; 0,63–1,25 мм – 48,6; 0,16–0,63 мм – 32,5; менее 0,16 мм – 2,5. Истинная плотность шлака 3,52 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность – 1660 кг/м<sup>3</sup>, твердость по шкале Мооса 6–7, химический состав, мас. %: +4,06  $\Delta m_{\text{прк}}$ ; 32,53  $SiO_2$ ; 4,93  $Al_2O_3$ ; 43,56  $FeO$ ; 5,62  $CaO$ ; 1,65  $MgO$ ; 4,15  $SO_3$ ; 0,16  $TiO_2$ ; 0,05  $MnO$ . Фазовый состав представлен в основном стеклофазой, фаялитом и магнетитом.

Исследована размалываемость МГШ в сравнении с портландцементным клинкером, ДГШ и гипсоангидриновым камнем. Установлено, что медный шлак размалывается значительно труднее. Так, при тонкости помола 5 % продолжительность измельчения МГШ больше на 20 и 40 % по сравнению с доменным шлаком и клинкером, соответственно, и в 2,5 раза в сравнении с гипсовым камнем (рис. 1).

Подобраны 7 составов общестроительных цемента трех типов с добавкой МГШ в количестве 5 % в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки вместо клинкера (табл. 1).

Помол цемента проводили в лабораторной шаровой мельнице до остатка на сите № 008 5,7–6,7 %. Установлено, что добавка МГШ ускоряет помол портландцемента состава № 2 по сравнению с составом № 1 при равной дисперсности на 6,8 %, цемента состава № 5 по сравнению с составом № 3 – на 5,3 % (рис. 2). Использование ДГШ в качестве вспомогательного компонента (состав № 4) вместо МГШ ускоряет помол цемента на 6,4 %. Введение медного шлака в состав шлакопортландцемента сокращает продолжительность помола на 1,5 % при равной дисперсности вяжущих.

\*Рекомендовано к опубликованию по результатам конкурса докладов молодых ученых на Международной научно-технической конференции «Перспективы развития строительного материаловедения», проходившей в Южно-Уральском государственном университете 24–26 сентября 2013 г. при участии фирмы «КНАУФ».

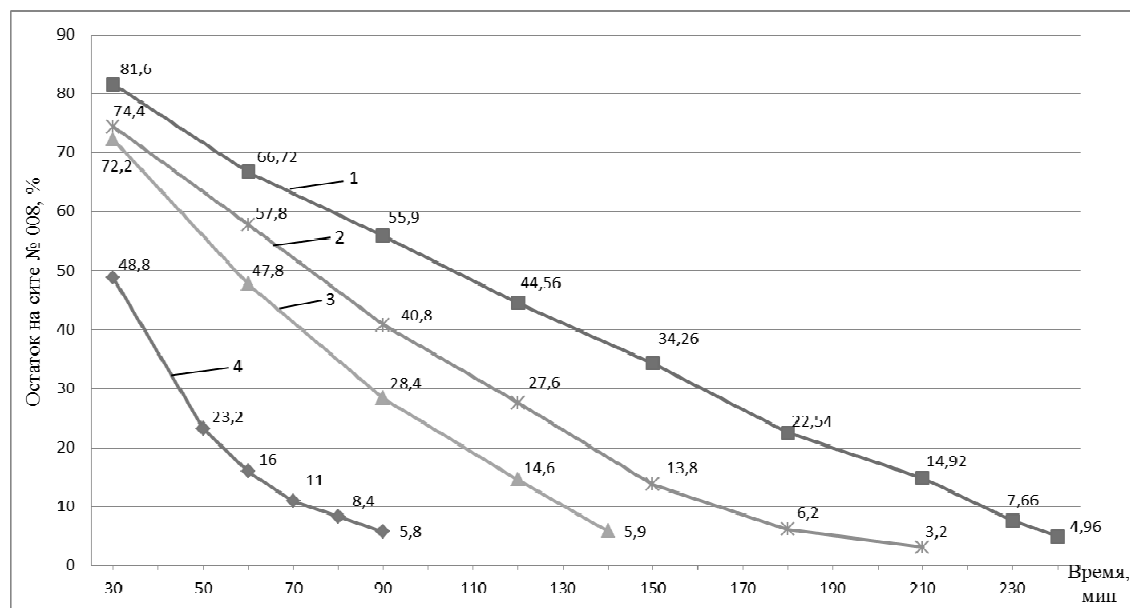


Рис. 1. Кинетика помола сырьевых материалов: 1 – медный гранулированный шлак; 2 – доменный гранулированный шлак; 3 – портландцементный клинкер; 4 – гипсоангидритовый камень

Таблица 1

Состав исследованных цементов

Номер состава	Вид цементов	Тип цементов	Вещественный состав цемента, мас. %			
			клинкер	ДГШ	МГШ	гипс
1	Портландцемент	ЦЕМ I	100	—	—	4
2			95	—	5	4
3	Портландцемент с минеральными добавками	ЦЕМ II/A-III	85	15	—	4
4			80	15+5	—	4
5			80	15	5	4
6	Шлакопортланд-цемент	ЦЕМ III/A	60	40	—	4
7			55	40	5	4

Таблица 2

Результаты физико-механических испытаний цементов

Номер состава	Содержание SO <sub>3</sub> , мас. %	Продолжительность помола, мин	Содержание частиц фракции, мм, мас. %						Тонкость помола, мас. %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг
			менее 5	5–30	30–50	50–80	80–100	более 100		
1	2,31	200	20,0	49,2	14,0	10,4	2,9	3,5	6,42	337
2	2,59	190	20,5	49,4	13,8	10,1	2,8	3,4	6,14	359
3	2,48	200	20,8	47,6	15,1	10,7	2,7	3,1	5,68	368
4	2,52	188	—	—	—	—	—	—	5,76	343
5	2,68	190	21,2	47,0	14,6	10,5	3,3	3,4	6,66	344
6	2,63	200	19,1	44,6	17,1	12,9	3,2	3,1	6,26	325
7	2,82	200	19,8	45,2	16,9	12,2	3,1	2,8	5,74	350

Исследование гранулометрического состава цементов показало, что добавка МГШ изменяет их зерновой состав: снижает количество крупных частиц фракции 30–80 мкм и увеличивает содержание более мелких частиц размером менее 30 мкм, что повышает удельную поверхность цементов.

Добавка медного шлака незначительно увеличивает содержание SO<sub>3</sub> в цементах (табл. 2). Все цементы удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108-2003 по началу схватывания (табл. 3). Прочность цементов определяли через 7 и 28 сут твердения образцов в воде, а также после пропаривания. Установлено, что добавка МГШ уменьшает

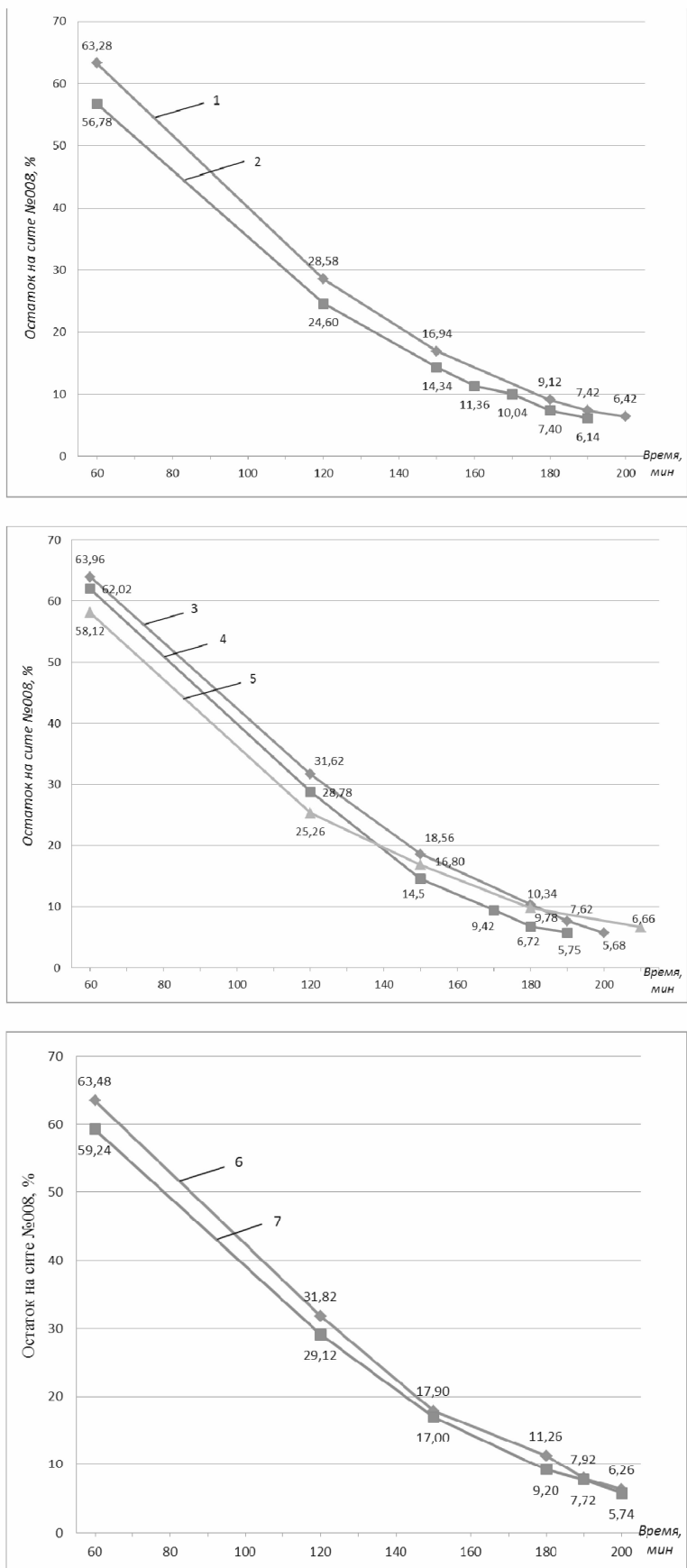


Рис. 2. Влияние вспомогательного компонента МГШ на кинетику помола цементов разных типов: номер кривой соответствует составу цемента по табл. 1

Результаты испытаний портландцементов по ГОСТ 30744-2001

Номер состава	НГ, мас. %	Сроки схватывания, ч-мин		Предел прочности, МПа, через, сут				Тип и класс цемента
		начало	конец	при изгибе		при сжатии		
				7	28	7	28	
1	25,94	2-50	4-00	3,66	7,58	22,8	40,3	ЦЕМ I 32,5Н
2	25,94	3-15	4-30	2,95	7,14	21,1	35,4	ЦЕМ I 32,5Н
3	26,15	2-25	3-40	4,97	7,17	23,9	36,6	ЦЕМ II/A-III 32,5Н
4	26,67	2-55	3-30	4,86	6,97	19,0	35,4	ЦЕМ II/A-III 32,5Н
5	27,44	3-00	4-00	4,35	6,49	18,4	32,8	ЦЕМ II/A-III 32,5Н
6	25,47	1-40	4-00	3,34	5,46	12,9	24,4	ЦЕМ III/A 22,5Н
7	25,56	2-00	4-20	3,13	5,40	11,8	22,6	ЦЕМ III/A 22,5Н
Требование ГОСТ 31108	–	Не ранее 1–15	–	–	–	≥ 16	32,5–52,5	32,5Н
						≥ 11	22,5–42,5	22,5Н

прочность, как при нормальном твердении, так и после пропаривания, как при изгибе, так и при сжатии, что указывает на отсутствие гидравлической активности шлака, т. е. МГШ является наполнителем.

Добавка МГШ в ранние сроки твердения снижает предел прочности при сжатии цементов в меньшей степени, чем в поздние сроки. Так, прочность при сжатии портландцемента ЦЕМ I через 7 сут водного твердения уменьшается на 7,5 %, а через 28 сут – на 12,1 %, у портландцемента ЦЕМ II соответственно – на 23,0 и 10,4 %, шлакопортландцемента типа ЦЕМ III – на 8,5 и 7,4 %. Показано, что все цементы по прочностным характеристикам удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108-2003 (см. табл. 3).

Таким образом, показана возможность применения гранулированного медного шлака ОАО

«Святогор» в качестве вспомогательного компонента минеральной добавки в составе портландцемента типа ЦЕМ I и шлакопортландцемента типа ЦЕМ III.

### Литература

1. Классен, В.К. *Техногенные материалы в производстве цемента* / В.К. Классен, И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008. – 126 с.
2. Пьячев, В.А. *Использование шлаков цветной металлургии в производстве цемента. Обзорная информация* / В.А. Пьячев. – М.: ВНИИЭСМ, 1985. – Вып. 1. – 53 с.
3. *Derdacka, A. Zuzel pamiedsiowy jako dodatek do cementu* / A. Derdacka, E. Paluch, M. Gawlicki // *Cement, Wapno, Gips*. – 1975. – № 8–9. – P. 229–236.

**Капустин Федор Леонидович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение в строительстве», директор департамента «Строительное материаловедение», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург; f.l.kapustin@ustu.ru.

**Афанасьева Марина Алексеевна**, аспирант кафедры «Материаловедение в строительстве», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, m.a.afanasyeva@mail.ru.

## THE USE OF COPPER SLAG IN THE PRODUCTION OF CEMENT OF A GENERAL PURPOSE

*F.L. Kapustin, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg,  
Russian Federation, f.l.kapustin@ustu.ru,*

*M.A. Afanasieva, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg,  
Russian Federation, m.a.afanasyeva@mail.ru*

The results of research on the use of granulated slag of copper industry as an accessory part of mineral additive at grinding of cement of a general purpose are given in the article. The composition, properties and grindability of copper slag, its influence on grinding period, granulated composition and physical mechanical properties of standard cement are studied in the article.

*Keywords: granulated copper slag, mineral additive, accessory part, cement, grinding, grindability, physical and mechanical properties of standard cement.*

*Поступила в редакцию 1 октября 2013 г.*