

*Кудеярова Н.П., канд. техн. наук.  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова  
Ломаченко Д.В., канд. техн. наук.  
«Крюгер Технолоджис», США*

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПОМОЛА ДОМЕННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ПОМОЛА

Kudeyarova@intbel.ru

*При измельчении портландцемента широко распространенной добавкой являются шлаки. Шлаки доменного и электроплавильного производства отличаются по структуре и более высокой прочностью от портландцементного клинкера, что характеризует их более низкую размолоспособность. Повысить тонкость помола портландцемента можно введением добавок-интенсификаторов разрушения твердых частиц.*

*В работе установлено, что добавка на основе отхода производства резорцина интенсифицирует процесс помола шлака и более эффективно по сравнению с используемыми добавками в цементной промышленности по причине снижением поверхностного натяжения на границе раздела фаз твердое тело – газ, а также структурой добавки, содержащей ароматические кольца в своем строении. Использование добавки позволит до 20% увеличить удельную поверхность портландцемента с добавкой шлака и повысить энергоэффективность цементного производства.*

**Ключевые слова:** *гранулированный шлак, диспергаторы, интенсификация помола.*

**Введение.** Шлак измельчается совместно с портландцементным клинкером при получении цемента с активными минеральными добавками или шлакового портландцемента. В качестве компонента для сухих строительных смесей и других композиционных вяжущих он вводится в предварительно измельченном состоянии. Шлаки доменного и электроплавильного производства отличаются по структуре и более высокой прочностью от портландцементного клинкера, что характеризует их более низкую размолоспособность. Исходя из этого вопрос измельчения шлаков, а также интенсификации данного процесса, как и процесса измельчения цемента в целом, является весьма актуальным.

**Основная часть.** В работе проведена оценка степени измельчения шлаков Оскольского электрометаллургического комбината (ОЭМК) и Новолипецкого металлургического комбината (НЛМК) с добавкой на основе резорцина. В частности, оценивалась интенсифицирующая способность добавки на основе лигносульфонатов и добавка ДР-3 на основе отхода производства резорцина, которая достаточно хорошо интенсифицирует процесс помола портландцемент-

та и шлакопортландцемента [3,4]. Помол материала проводился в лабораторной шаровой мельнице с постоянным временем помола и использованием добавок различной концентрации: 0,02; 0,04; 0,09; 0,1; 0,12 мас. %.

Приведенные результаты исследования (табл. 1) свидетельствуют об интенсификации процесса измельчения шлаков с добавками. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что использование добавки на основе отхода производства резорцина позволяет эффективнее интенсифицировать процесс помола гранулированного шлака ОЭМКа, по сравнению с добавкой ЛСТ на основе полиметиленафталин сульфонатов (пробы 2...5). Использование указанных добавок в процессе помола со шлаком НЛМК показало примерно схожие результаты. При этом из исследуемых шлаков наибольшую эффективность к измельчению при введении двух добавок показал шлак НЛМК. При этом замена части добавки ЛСТ добавкой на основе отхода резорцина позволяет добиться синергетического эффекта и интенсифицировать процесс измельчения доменного гранулированного шлака.

Таблица 1

**Эффективность измельчения доменного гранулированного шлака  
с различными добавками**

№ пробы	Вид добавки и ее количество, мас. %	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	
		шлак ОЭМК	шлак НЛМК
1	0	2814	2844
2	0,02 ДР-3	3110	3027
3	0,04 ДР-3	3410	3218
4	0,1 ЛСТ	2956	2917
5	0,12 ЛСТ	3012	3009
6	0,09 (0,02 ДР-3+0,07 ЛСТ)	3323	3331
7	0,12 (0,02 ДР-3+0,1 ЛСТ)	3359	3398

В дальнейшем в работе использовались образцы 1, 2, 4 и 6. Ситовой анализ является довольно важной характеристикой и позволяет сделать выводы о гранулометрическом составе изучаемого материала и тонкости измельчения. Рассев шлаков ОЭМКа и НЛМКа (эти образцы были выбраны как наиболее легко - и трудно измельчаемые) проводился на вибрационных ситах 008 и 02. Анализ отсева на ситах (табл. 2) подтверждает, что добавка на основе отхода резорцина обладает большей интенсифицирующей способностью – так, при ее использовании полный остаток на сите 008 составил 9,3 и 9,7 мас. % для образцов шлака ОЭМКа и шлака

НЛМКа соответственно. На сите 02 для обоих образцов остаток составил 1 и менее мас. %, в то время как для шлака НЛМКа с добавкой на основе полиметиленафталин сульфонов полный остаток на сите 008 составил 11,2 и на сите 02...1,3 мас. %. При этом при совместном введении добавок (образец № 6) достигаются сопоставимые и даже меньшие результаты с образцами шлаков, измельченными с добавкой на основе отхода производства резорцина. В этом случае доля крупных частиц (остаток на сите 02) меньше чем при использовании отдельных добавок.

Таблица 2

Результаты ситового анализа измельченных шлаков с добавками

№ пробы	Вид добавки и ее количество, мас. %	Остаток на ситах, мас. %, и номер сита			
		Шлак ОЭМКа		Шлак НЛМКа	
		008	02	008	02
1	0	12.4	1.8	12.3	1.8
2	0,02 ДР-3	9.3	0.9	9.7	1.0
4	0,1 ЛСТ	10.9	1.2	11.2	1.3
6	0,09 (0,02 ДР-3+0,07 ЛСТ)	9.3	0.8	9.1	0.9

Согласно теории Ребиндера введение поверхностно-активных веществ способствует диспергации измельчаемых материалов. Одной из величин, характеризующих свойства ПАВ, является их поверхностная активность, и чем больше поверхностная активность, тем больше выражены свойства ПАВ. Применяемые в настоящее время в промышленности добавки-диспергаторы представляют собой, как правило, линейные анионоактивные ПАВ. Нами была предложена добавка, имеющая небольшую поверхностную активность, но циклическое строение. Добавка представляет щелочной водный раствор кубовых остатков производства резорцина. Проведенные исследования показали, что поверхностная активность добавки не всегда является определяющей величиной, которая характеризует степень диспергации частиц. При более низких значениях поверхностной активности может быть достигнут равный или пре-

вышающий эффект воздействия поверхностно-активных веществ на измельчение твердых тел. Интенсифицирующая способность добавки ДР-3 в процессе помола твердого тела обуславливается снижением поверхностного натяжения на границе раздела фаз твердое тело – газ, а также структурой добавки, содержащей ароматические кольца в своем строении [3]. Также было установлено, что адсорбция добавки ДР-3 на границе раздела раствор – твердое тело носит преимущественно химический характер и протекает на ионах  $Ca^{2+}$  с максимальной величиной адсорбции.

Более точную характеристику степени помола того или иного компонента позволяет отразить гранулометрический метод анализа. В табл. 3 приведен гранулометрический состав шлака измельченного с выбранными добавками. Гранулометрический состав определен с помощью лазерного гранулометра Microsizer.

Таблица 3

Количество частиц (в процентах), соответствующих заданным значениям размеров частиц

№	Вид добавки и ее количество, мас. %	Количество частиц (мас. %) диаметром, мкм							
		0,99	4,92	10,9	24,4	54,3	121	269	600
1	0	3,5	7,6	14,0	19,8	27,1	21,4	5,9	0,7
2	0,02 ДР-3	3,8	8,4	16,2	18,9	25,3	21,6	5,2	0,6
4	0,1 ЛСТ	3,5	7,7	13,3	20,2	27,4	22,6	4,6	0,7
6	0,09 (0,02 ДР-3+0,07 ЛСТ)	3,9	8,3	14	20,6	24,5	22,7	5,2	0,6

Результаты исследования свидетельствуют, что добавка на основе отхода производства ре-

зорцина значительно интенсифицирует процесс помола доменного гранулированного шлака

ОАО ОЭМКа. Количество мелкой фракции (до 5 мкм) составляет для образца шлака, измельченного с добавкой на основе отхода резорцина на ~ 9 мас.% больше по сравнению с образцом шлака, измельченного с добавкой ЛСТ. При этом находит подтверждение тот факт, что замена части ЛСТ на добавку на основе отхода резорцина позволяет значительно увеличить эффективность помола и достичь сопоставимых результатов, полученных при помоле шлака с добавкой на основе резорцина (образец б). Химический характер адсорбции добавки ДР-3 на активных центрах  $\text{Ca}^{2+}$  обуславливает влияние связи Са-О на размолоспособность шлаковых фаз. Интенсификатор ДР-3, являясь анио-

нактивным, снижает поверхностное натяжение на границе раздела твердое тело-газ и наряду с ослаблением связи Са-О, оказывает большее влияние на разрыв связи ионов кальция с кремнекислородным тетраэдром в структуре силикатных шлаковых минералов, что объясняет большую эффективность влияния интенсификатора на их измельчение.

Оценка влияния измельчения шлака с добавками на эффективность помола двухкомпонентного вяжущего (портландцементный клинкер ОАО «Белгородский цемент»-75 %, шлак ОЭМКа-25 %) проводилось при постоянном времени измельчения в лабораторной шаровой мельнице (табл. 4).

Таблица 4

Результаты измельчения двухкомпонентного вяжущего

№	К о л и ч е с т в о и н т е н с и ф и к а т о р а  ( м а с. ) и е г о т и п	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Остаток на сите 008, мас. %
	, 0 2		