

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.4. Кондиционирование и управление качеством золошлаков****3.4.2. Улучшение строительно-технических свойств золошлаков теплоэнергетики***Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев, УГТУ–УПИ им. Б.Н. Ельцина, Екатеринбург**Б.Л. Вишня, Инженерный центр энергетики Урала, Екатеринбург**В.Я. Путилов, МЭИ(ТУ)***АННОТАЦИЯ**

Представлены возможные направления улучшения строительно-технических характеристик сухих зол, образующихся при сжигании твердого топлива на тепловых электростанциях. Приведены результаты применения различных технологий кондиционирования свойств золошлаков для расширения направлений и увеличения объемов их использования при производстве строительных материалов и изделий.

ВВЕДЕНИЕ

Золошлаки ввиду разнообразия свойств энергетических углей и других твердых топлив и условий их сжигания на ТЭС, а также разных способов их улавливания и удаления, различаются химическим и минералогическим составом, дисперсностью, химической активностью и температурой плавления. В соответствии с РД 34.09.603–88 золошлаки по химическому составу подразделяются на кислые и основные; по содержанию горючих – на золошлаки с низким, средним и высоким содержанием горючих (потери массы при прокаливании не более 5, 5...10, и более 10 %); по дисперсности – на золы низкодисперсные, среднелдисперсные и высокодисперсные (удельная поверхность менее 150, 150...300 и более 300 м²/кг); по температуре плавления – на золошлаки легкоплавкие, средней плавкости и тугоплавкие (температура плавления менее 1250, 1250...1450 и выше 1450 °С) [1].

При оценке возможности использования золошлаков в строительстве и производстве строительных материалов основными характеристиками являются их химический состав, содержание горючих и свободного оксида кальция, удельная поверхность, температура плавления. К дополнительным характеристикам золы и шлака, часто определяющим их потребительские свойства, относятся влажность, зерновой состав, насыпная плотность, содержание стекловидных частиц золы. С другой стороны, пригодность золошлаков в качестве основного сырья для производства строительных материалов различного назначения определяется, прежде всего, отсутствием или ограниченным содержанием в них вредных компонентов, ухудшающих физико-механические и эксплуатационно-технические свойства изделий или затрудняющих технологические процессы их производства и ограничивающих область применения.

Полученные при сжигании твердого топлива зола, шлак и золошлаковая смесь могут быть использованы только в том случае, если их свойства удов-

летворяют требованиям технических стандартов. Так, только сертифицированная зола, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 25818–91, может применяться в бетонах. Зола, не соответствующая тому или иному требованию стандарта, может использоваться в другом качестве, если она удовлетворяет необходимым требованиям или же складироваться в отвалах. Из вышеизложенного следует, что качество зол и шлаков, поступающих на переработку строго регламентируется. В то же время режимы сжигания топлива на ТЭС не всегда благоприятствуют получению золошлаков со «стандартным набором» характеристик и свойств. По этой причине кондиционирование золы или шлака следует считать штатной операцией при выборе технологий обращения с ними на ТЭС.

В настоящее время кондиционирование золошлаков по ряду существенных показателей, например, удаление избытка углерода или увеличение дисперсности не регламентируется нормами проектирования твердотопливных ТЭС. В тоже время в европейском стандарте EN 450–2005 «Летучая зола для бетона» установлены требования к составу и свойствам применяемой золы.

В некоторых странах Европы работают установки по кондиционированию золы с целью улучшения ее свойств за счет выделения определенных фракций частиц, выделения недожога, смешивания, активации и др. В Германии с помощью воздушной классификации из исходной золы выделяется мелкодисперсная фракция с размером частиц до 10 или до 20 мкм (Microsit), которую добавляют при производстве бетонов, пластмасс и красок для улучшения их свойств. Для удовлетворения сезонного спроса на сухую золу в Германии и Франции применяются установки для сушки отвальной золошлаковой смеси. В Великобритании и Германии применяются технологии, позволяющие выделить из золы микросферы, которые можно использовать в бетонах или в качестве наполнителей красок, пластмасс, бумаги и других материалов, недожог – для применения в качестве твердого топлива, магнетит – для использования в термопластике, а также крупную и мелкую зольные фракции – для применения в производстве строительных материалов. Ниже представлены возможные направления улучшения строительно-технических свойств сухих зол ТЭС.

1. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ

Дисперсность золы влияет не только на свойства золопортландцемента, но и эксплуатационные ха-

рактеристики бетона на его основе. При проведении исследований Л.Я. Гольдштейн [2] установил, что при замене 30% цемента (с удельной поверхностью 320 м²/кг) тонкомолотой кислой золой с дисперсностью 650 и 1050 м²/кг, полученной дополнительным размолотом в мельнице, подвижность растворной смеси уменьшается, а прочность цементов возрастает (табл. 1). При этом, цемент с добавкой золы, размолотой до удельной поверхности 1050 м²/кг, в возрасте 28 суток имел прочность при сжатии, приблизительно равную соответствующему показателю для бездобавочного цемента. Однако в более поздние сроки твердения цементы с добавкой золы, имеющей высокую дисперсность, приобретают прочность, превышающую прочность чистого цемента не более чем на 20 %.

Высокая исходная дисперсность частиц золы позволяет избежать дополнительных затрат на их доизмельчение для использования в технологиях производства строительных материалов, традиционно базирующихся на использовании тонкодисперсного сырья. Однако в начале таких технологических линий обычно установлены узлы, предназначенные для приема и начальной переработки природного кускового сырья. В результате указанного обстоятельства получается, что замена «куска» на «пыль» в действующих производствах создает определенные трудности, связанные не только с адаптацией оборудования к пылевидному сырью, но и с необходимостью выполнения мероприятий по обеспыливанию технологических процессов.

Таблица 1. Влияние дисперсности золы и продолжительности твердения на прочность портландцемента

Портландцемент	Удельная поверхность золы, м ² /кг	Изменение прочности при сжатии, %, через, сут.			
		7	28	90	180
Без золы	—	64	100	114	134
С добавкой 30 % золы	240	46	77	112	124
	650	51	89	133	144
	1050	56	98	133	147

2. ВОЗДУШНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ

С целью изучения влияния различных зольных фракций на прочность цементного камня золу, полученную с установки отгрузки сухой золы Рефтинской ГРЭС, подвергали фракционированию на многорядном центробежном классификаторе. Получены четыре зольных фракции (условно разделенные по граничному размеру частиц 10 и 60 мкм), различающиеся количеством и гранулометрическим составом. Тонкодисперсная фракция была представлена частицами размером менее 10 мкм в количестве не менее 90 %. Наибольшую плотность имели зольные частицы с размером более 60 мкм, наименьшую – частицы ме-

нее 10 мкм. Кроме того, в тонкодисперсной фракции золы отмечено повышенное содержание недожога (до 6 %), а в зольной фракции 10...60 мкм он отсутствовал.

Установлено, что исходная зола и ее фракции при добавлении в портландцемент увеличивают его водопотребность, уменьшают плотность и прочность цементного камня водного твердения, особенно значительно при введении их в количестве 30 % его массы. Однако после пропаривания в возрасте одних суток цементный камень с добавкой исходной золы и зольных фракций менее 10 и более 10 мкм имеет более высокую прочность по сравнению с цементом без золы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние зольных фракций на физико-механические свойства цементного камня

Проба золы	Количество золы, мас. %	В/Ц	Плотность цементного камня, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа, через, сут.			
				Нормальное твердение		После пропаривания	
				3	28	1	28
Портландцемент	0	0,27	2320	42,3	61,6	39,7	67,7
Исходная	15	0,34	2160	37,7	52,3	44,9	71,1
	30	0,46	1990	20,9	34,4	36,1	49,4
Фракция > 60 мкм	15	0,29	2270	36,1	45,7	39,8	55,0
	30	0,36	2040	33,3	44,8	29,5	41,5
Фракция 10...60 мкм	15	0,31	1850	27,8	40,2	—	—
	30	0,44	1730	22,1	26,6	—	—
Фракция < 10 мкм	15	0,37	2280	27,9	42,9	44,1	60,0
	30	0,47	2130	24,4	34,9	36,1	57,3
Фракция > 10 мкм	15	0,33	2150	30,8	46,1	41,3	60,4
	30	0,47	1970	20,1	32,0	30,1	54,9

3. СНИЖЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГОРЮЧИХ

Существенным фактором, ограничивающим применение летучих зол в строительстве, является наличие в их составе остаточного углерода, которое, как правило, оценивается по потерям массы при прокаливании. Негативное воздействие коксового остатка в составе зол проявляется в снижении прочности цементно-золяного камня по причине адсорбционного поглощения углеродом гидроксида кальция, образующегося при гидратации цемента, что ухудшает фазовый состав образующихся гидросиликатов кальция в нем.

Наиболее сильно этот фактор проявляется при рассмотрении вопросов переработки зол кузнецких, донецких, воркутинских и других углей с малым выходом летучих при традиционном факельном их сжигании. Для зол указанных углей потери массы при прокаливании колеблются в диапазоне от 10 до 25 %, а в отдельных случаях достигают 35...40 %. Можно утверждать, что на большинстве ТЭС имеются определенные технические возможности для уменьшения потерь топлива с механическим недожогом. Установлено, что углерод в золе содержится как в мелких, так и в крупных частицах размером 0,5...1 мм. Наличие крупных частиц золы с недожогом является следствием неоптимальной тонины помола углей на ТЭС, так как для полного сгорания крупных фракций котельного топлива требуется большее время, нежели продолжительность их пребывания в зоне горения в топке. Полагаем, что обеспечение необходимой тонины помола углей (поддержание размольных характеристик мельниц, модернизация сепараторов угольных мельниц и др.) позволит снизить избыток коксового остатка в золе. Альтернативой указанному варианту является создание технологических линий по разделению золы на две группы фракций с дифференцированным со-

держанием углерода. Возможная технология выделения мехнедожога представлена в [3]. В мировой практике достаточно широкое промышленное применение получила технология Компании Separation Technologies по выделению из золы остаточного углерода [4].

4. ГРАНУЛЯЦИЯ

Грануляция является одним из эффективных способов улучшения потребительских свойств ЗШМ [5]. Чаще всего ее используют в технологиях получения легких заполнителей для бетонов [6]. Грануляция позволяет существенно упростить применение летучих зол в качестве заменителя природного сырья. Она позволяет исключить применение дорогой специальной техники для их отгрузки, транспортирования и подготовки в традиционных технологиях производства разнообразной товарной продукции. Весьма важно, что гранулированная зола, по существу, сочетает достоинства кусковых материалов и исходной золы, так как зольные гранулы, произведенные без обжиговых технологий, обычно легко измельчаются при совместном помолу с другими компонентами.

Особенно эффективна грануляция для высококальциевых зол бурых углей Канско-Ачинского бассейна. Установлено, что такие золы хорошо гранулируются: выход гранул размером менее 5 мм не превышает 5 %, доля фракции 10...20 мм находилась в пределах 77...85 %, а их точечная прочность составляла до 30 Н/гранула. Наибольшую прочность имели гранулы из золы при сжигании углей в котлах с твердым шлакоудалением (табл. 3). При размещении гранулированной золы на золошлакохранилищах не только сохраняются ее потребительские свойства (табл. 4), но и существенно снижается вредное воздействие систем золошлакоудаления ТЭС на окружающую природную среду.

Таблица 3. Свойства зольных гранул в зависимости от способа сжигания бурого угля

Показатели	Способ сжигания топлива		
	ЖШУ	ТШУ	КС
Водопотребность золы, %	18...28	30...36	40...70
Насыпная плотность, кг/м ³	900...1200	800...1100	700...1000
Средняя плотность, кг/м ³	1560...1970	1090...1460	1080...1320
Количество сбрасывания гранул с высоты 0,3 м	5...15	4...6	3...15
Максимальная высота сбрасывания, м	0,8...1,5	1,0...1,5	0,5...1,0
Прочность при сжатии через 1 сутки твердения, Н/гранула	10...100	60...120	5...50

Таблица 4. Изменение свойств зольных гранул при атмосферном хранении в течение 4 месяцев

Наименование характеристики, размерность	Величина		Изменение, %
	исходная	после хранения	
Средняя плотность, кг/м ³	1350	1655	+22,6
Насыпная плотность, кг/м ³	850	998	+17,4
Водопоглощение, %	28	11	-60,6
Предел прочности на сжатие в цилиндре, МПа	1,43	3,36	+134,9
Потеря массы при прокаливании, %	17,3	24,5	+41,6

Отмеченные преимущества гранулированной золы не исключают возможности штабелирования высококальциевых зол с исходными свойствами в

увлажненном состоянии или иными способами, однако следует иметь в виду, что потребительские свойства у штабелированных зол хуже, чем у гра-

нулированных. В любом случае при выборе технологий кондиционирования золошлаков необходимо рассматривать совокупность следующих основных критериев:

- соответствие требованиям экологических сертификатов;
- стабильность фазового и химического составов золошлаков, влажность, устойчивость против слеживания и смерзаемости, а также отсутствие пылевыведения;
- содержание полезных компонентов в оптимальном виде, например, оксид кальция в виде известки или клинкерных минералов;
- удобство агрегатного состояния для последующего обращения;
- неизменность свойств золошлаков при транспортировании;
- подверженность уровня спроса на золошлаки сезонным колебаниям и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере золы энергетических углей рассмотрены возможные направления улучшения строительно-технических свойств золошлаков ТЭС. Эффективность их применения зависит от потребительских свойств и направлений переработки золошлаков в строительные материалы и изделия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **РД 34.9.603–88.** Методические указания по организации контроля состава и свойств золы и шлаков, отпускаемых потребителям тепловыми электростанциями. Введ. 01.01.1989. М.: ВТИ, 1988.
2. **Гольдштейн Л.Я., Штейерт Н.П.** Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента. Л.: Стройиздат, 1977. 152 с.
3. **Долганов Е.А., Уфимцев В.М., Канусик Ю.П.** Пневматическое кондиционирование зол теплоэнергетики. Комплексное использование минерального сырья, 1990. №12. С. 49–52.
4. **Биттнер Д.Д., Газиоровски С.А., Левандовски В.** Технология сепарации фирмы STI для выделения мехнедожога из летучей золы. Межд. научн. практ. семинар «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование». М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 80–86.
5. **Вишня Б.Л., Уфимцев В.М., Капустин Ф.Л.** Перспективные технологии удаления, складирования и использования золошлаков ТЭС. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 156 с.
6. **Элинзон М.П.** Производство искусственных пористых заполнителей. М.: Стройиздат, 1974. 256 с.

Улучшение строительно-технических свойств золошлаков теплоэнергетики. Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев, В.Я. Путилов и др. Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 22–23 апреля 2010 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 48–51.