

УДК 666.96, 691.33

Х.А. Исхаков, А.Р. Богомолов

## ЗОЛА УНОСА – СЫРЬЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

Мощение дорожек брусчаткой и тротуарной плиткой из клинкера на протяжении многих столетий практикуется в Западной Европе, и все большее применение находит в последнее время в России.

Прототипом тротуарной плитки является натуральный мостовой камень, добыча и переработка которого является дорогим удовольствием, да и запасы природного камня небезграничны.

Современная тротуарная плитка производится из смеси бетона, песка и красителей безарматурным способом. Такая плитка сохраняет все положительные характерные особенности натурального камня.

Клинкерная брусчатка и тротуарная плитка обладают повышенной прочностью и это достигается за счет технологии обжига фирмы Feldhaus

В некоторых странах (например, в Германии, Голландии) тротуарная плитка производится из золы уноса. По сравнению с плиткой, получаемой из природных магматических материалов – базальтов, диабазов – технология с использованием золы уноса значительно дешевле.

Технология на основе естественного камня, гравия включает значительные затраты, складывающиеся из следующих операций: добыча природного камня, дробление и измельчение, перемешивание со значительной добавкой цемента, прессование.

В результате осуществления всех этих операций производства, плитка обходится для производителя, и тем более для покупателя, довольно дорого, да и экономически невыгодно, так как нарушается природный ландшафт.

Компонент	Температура плавления $t_3$ , °C	Компонент	Температура плавления $t_3$ , °C
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2050	$\text{CaO}$	2572
$\text{SiO}_2$	1710–1725	$\text{MgO}$	> 2500
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1565	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ – алюминия метасиликат (природ. муллит)	1810–1850
$\text{Fe}_3\text{O}_4$	1550–1590		

Klinker при температуре 1200°C. Для приготовления бетонной смеси применяют портландцемент марки не ниже 400, содержащий в цементном клинкере не более 5% оксида магния и не более 8% трехкальциевого алюмината. В качестве мелкого заполнителя применяют природные, обогащенные и фракционированные, а также дробленые обогащенные пески.

Изготовление плитки из золы уноса более выгодно и технологически удобно – исключаются процессы добычи, дробления и измельчения, нет необходимости добавления цемента. Технология формования в основном будет зависеть от температуры плавления золы, которая характерна для каждого месторождения и определяется составом минеральной части топлива. При изготовлении

Таблица 1. Химический состав (в %) и температура плавления золы углей Кузнецкого бассейна [3]

Район	$A^d$	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$t_3$ , °C
Угли кольчугинской серии							
Ленинский	9,5	49,8	21,2	9,3	7,8	2,9	1260–1280
Беловский	9,4	47,7	20,0	10,4	9,8	3,4	1260–1280
Байдаевский	9,8	49,9	23,8	11,0	4,8	2,2	1320–1340
Осиновский	8,4	51,0	20,5	8,6	7,0	1,8	1270–1410
Томь-Усинский	9,1	52,3	22,7	7,8	5,5	1,6	1280–1450
Угли балахонской серии							
Анжерский	9,0	59,1	18,0	8,2	6,7	2,5	1300–1440
Кемеровский	12,4	62,3	18,9	6,6	4,5	1,9	1160–1340
Прокопьевско-Киселевский	9,5	55,5	26,0	7,5	3,9	1,6	1350–1500
Бунгуро-Чумышский	10,0	47,7	26,8	5,7	9,4	3,8	1390–1450
Араличевский	14,4	50,1	24,7	6,8	6,5	2,4	1330–1390
Кондомский	9,1	57,2	26,2	5,3	3,9	1,6	1400–1500
Томь-Усинский	12,5	56,2	25,6	7,2	4,9	1,5	1400–1500

Таблица 2. Состав золы продуктов обогащения, % [3]

Шахта	Продукт обогащения	Технологическая группа угля	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO
им. Калинина	Концентрат	КЖ14	48,1	25,1	13,0	3,4	1,7
	Промпродукт		53,9	20,6	15,2	1,9	1,5
Красногорская	Концентрат	КЖ14	45,5	27,0	8,8	5,9	2,2
	Промпродукт		52,8	22,7	10,5	5,5	2,7
Коксовая 2	Концентрат	К13	46,8	28,1	5,4	15,7	2,5
	Промпродукт		53,9	23,6	6,5	4,9	2,6
Северный Маганак	Концентрат	КЖ14	45,4	28,9	7,2	4,8	1,8
	Промпродукт		53,9	23,8	9,7	3,5	1,8

Таблица 3. Химический состав золы углей (в %) тарбаганской серии [3]

Место взятия пробы	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	<i>t</i> <sub>3</sub> , °C
Ш. Юрская, 200 м, от устья, пласт Мощный	38,2	14,6	24,1	19,1	1,3	1115
Ш. Юрская, гезенк 1, пласт Мощный	32,8	18,1	22,8	23,2	2,3	1150

плитки достаточно температуру обжига держать в пределах *t*<sub>1</sub> – температуры начала деформации и *t*<sub>2</sub> – температуры размягчения, не доводя до *t*<sub>3</sub> – температуры жидкотекущего состояния (полного плавления) [1]. Температура плавления отдельных оксидов, входящих в состав минеральных компонентов углей довольно высокая [2]:

Однако, при сжигании углей образуются эвтектики с более низкой температурой плавления. Состав золы углей в отличие от других показателей качества характеризуется высоким уровнем изменчивости, закономерная часть которого фиксируется не всегда определенно в границах отдельного пласта, участка или месторождения. В целом с повышением метаморфизма отмечают некоторое общее снижение количества минеральных примесей, зольности углей, хотя при этом относительная доля малоподвижных элементов алюминия и кремния повышается, а доля кальция,

магния и железа понижается. В табл. 1 представлен химический состав и температура плавления золы углей Кузнецкого бассейна [3].

Приведенные среднестатистические данные говорят о том, что в первую очередь понижение температуры плавления золы связано с повышенным содержанием в золе оксида железа и в какой-то степени с содержанием оксидов кальция и магния.

В табл. 2 приведен состав золы концентратов и промпродуктов. Обращает на себя внимание, что в золе промпродуктов оксида железа всегда больше. К сожалению, отсутствуют данные по содержанию оксидов других щелочных элементов: вслед за железом они показали бы повышенные содержания в промпродуктах вследствие содержания мусковитов, богатых щелочными элементами, особенно калием.

Наконец, исключительно низкая температура

Таблица 4. Состав и температура плавления золы углей продуктивных свит карбона (в %) [4]

Свита	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	<i>t</i> <sub>3</sub> , °C
Ашлярикская и низы карагандинской	55–65	18–25	4–10	2–13	1–2	1500
Карагандинская (средняя часть)	45–60	22–30	4–14	5–15	1–2	1500
Карагандинская (верхняя часть)	45–55	18–30	6–18	1–9	1–2	1500
Долинская (Карагандинский и Тентекский районы)	50–55	27–37	4–8	1–8	1–2	1400–1500
Долинская (Шерубайнуринский район)	45–55	22–35	4–15	1–12	1–2	1400–1500
Тентекская (Тентекский район)	49–54	25–33	6–9	4–10	1–2	1400–1500

отмечена для золы юрских каменных углей (тарбаганская серия) – 1115 и 1150°C, соответственно содержащих очень большое количество оксида железа – 24,1 и 22,8 % (табл. 3).

Обратимся к углям Караганды и Экибастуза. Несмотря на широкий разброс данных по содержанию в золе оксидов, температура плавления золы карагандинских углей (табл. 4) высокая – 1400–1500°C [4]. Судя по оксидному составу, зола мало отличается от кузнецких углей, причина тугоплавкости в другом.

Главной минеральной примесью в карагандинских углях всех свит является каолинит, который выполняет трещины эндокливажа и клеточные полости структурных микрокомпонентов. Каолинит до температуры 600°C теряет воду, а при 940–960°C превращается в муллит, что и повышает суммарную температуру плавления золы.

Для Экибастузского бассейна характерны мощные пласти, достигающих 65–86 м, однако угольные пачки часто переслаиваются породными прослойками каолинитового состава.

Кроме того, сама органическая масса углей насыщена тонкодиспергированными минеральными примесями, что и является главной причиной тугоплавкости. Температура плавления золы следующая:

$$t_1 = 1320\text{--}1620^\circ\text{C};$$

$$t_2 = 1610\text{--}1680^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 1610\text{--}1680^\circ\text{C}.$$

Добавим к сказанному, что содержание  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO}$  не превышает 8%.

В работе [5] была рассмотрена полезная в практическом отношении взаимосвязь между

двуумя рассматриваемыми характеристиками – составом золы и температурой плавления.

Показана зависимость температуры плавления золы от так называемого коэффициента плавления  $K_{\text{пл}}$ , определяемого как отношение кислотных оксидов к щелочным:

$$K_{\text{пл}} = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3).$$

Приведенные в [5] зависимости температуры плавления золы от коэффициента плавления однозначно показывают, что с увеличением в составе золы углей содержания оксидов кремния и алюминия возрастает также и температура плавления. Оксиды кальция, магния и железа, наоборот, уменьшают температуру плавления. Использование коэффициента плавления в этом виде вуалирует роль отдельных компонентов золы, так как степень влияния каждого оксида на температуру плавления должна быть различной.

В связи с этим в работе [6] проведена обработка данных на основе рассмотрения зависимости плавкости золы как линейной функции отдельных оксидов.

Полученная зависимость для расчета температуры жидкотекущего состояния при корреляционном отношении 0,82 дает достаточно большие остаточные отклонения – 45°C.

Отмечено, что кислотные оксиды повышают температуру плавления, а щелочные понижают. Роль последних изменяется с повышением температуры нагревания золы. Это требует специальной проверки на основе детальных экспериментов.

Таким образом, напрашивается вывод, что прежде чем приступить к разработке технологии получения из золы тротуарной плитки, необходимо изучить свойства золы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев, Д. И. Углехимические лаборатории. – М.: Углетехиздат, 1957. – 376 с.
2. Черкинский, Ю. С. Химия полимерных неорганических вяжущих веществ. – Л.: Химия, 1967. – 224 с.
3. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т.7. Кузнецкий, Горловский бассейны и другие угольные месторождения Западной Сибири. – М.: Недра, 1969. – 912 с.
4. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т.5. Угольные бассейны и месторождения Казахстана. Кн.1. Бассейны и месторождения палеозойского возраста. – М.: Недра, 1973. – 720 с.
5. Новицкий, Н. В. Исследование влияния состава золы энергетических углей на плавкость и вязкость / Н.В. Новицкий, Н.В. Карагодина, М.И. Мартынова // Химия твердого топлива. – 1975, № 3. – С. 70-74.
6. Арцер А. С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование. Кн. 2 / А.С. Арцер, С.И. Протасов. – Кемерово: Кузбасс. Гос. техн. ун-т, 1999. – 168 с.

Авторы статьи:

Исхаков

Богомолов

Хамза Ахметович

Александр Романович

- докт.хим.наук, профессор (Институт угля и углехимии СО РАН)

- докт.техн.наук, доц. каф. «Процессы, машины и аппараты химических производств» КузГТУ,

Тел. (3842) 36-55-81

тел 8(3842)396332,

email; [barom@kuzstu.ru](mailto:barom@kuzstu.ru)