

Д. Т. Н. В. З. Абдрахимов, К. Т. Н. Е. С. Абдрахимова

ФГБОУ ВПО «Самарская академия государственного и муниципального управления»,  
г. Самара, Россия

УДК 666.76.043.2:66.046.4

## ПРОЦЕССЫ ГОРЕНИЯ ПРИ ОБЖИГЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО КЕРАМИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Исследованы процессы горения теплоизоляционных материалов из отходов производств без применения природных традиционных материалов. Показано, что при термообработке керамических теплоизоляционных материалов в интервале 400–600 °С из изделия удаляется основная часть летучих веществ, в интервале 1050–1100 °С значительно ускоряется процесс восстановления железа, при 1100 °С в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют.

**Ключевые слова:** теплоизоляционный материал, отходы горючих сланцев, золошлаковая смесь, межсланцевая глина, горение, пироуглерод, оксид железа, углеводороды.

Цель настоящей работы — исследовать процессы горения при обжиге теплоизоляционных материалов из техногенного сырья (отходов производств энергетики) с повышенным содержанием углерода без применения традиционных природных материалов, так как именно процессы горения при обжиге теплоизоляционного материала формируют основные физико-механические свойства изделий.

Ранее [1–3] была показана принципиальная возможность использования золошлаковой смеси от сжигания горючих сланцев и межсланцевой глины в производстве теплоизоляционного материала. В качестве отощителя, интенсификатора и частично выгорающей добавки использовали золошлаковую смесь от сжигания горючих сланцев. При сжигании горючих сланцев образуются золы и шлаки. Зола-унос — тонкодисперсный материал, состоящий из минеральной части сжигаемого топлива и улавливаемый из дымовых газов ТЭС. Размер частиц золы-уноса колеблется от 3–5 до 100–150 мкм. Плотность золы-уноса составляет 2,0–2,5 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность 0,85–1,05 г/см<sup>3</sup>, удельная поверхность 1150–1280 см<sup>2</sup>/г. Шлак — агрессивные и сплавившиеся частицы золы размерами от 0,15 до 30 мм.

Процесс образования золошлаковой смеси происходит по следующей технологии: сланец

с шахт Кашпирского рудника доставляется на Сызранскую ТЭС, загружается в приемные бункера и ленточными питателями подается в молотковые дробилки на первую стадию измельчения. Полученная крупа (размер зерен до 15 мм) поступает в шахтные мельницы на вторую стадию измельчения. Поток воздуха тонкий порошок через специальную форсунку вдувается в топку паровых водотрубных котлов. В топке начинается термообработка сланцев. В газоходах и пылесадительных устройствах происходит естественное фракционирование золы. Крупные частицы оседают в топке (25 %), средние в экономайзере (5 %), мультициклонах (35 %), а самые легкие в электрофильтрах (30 %). Некоторая часть золы улетает с газами в атмосферу (5 %). Усредненный химический состав золошлаковой смеси представлен в табл. 1. Повышенное содержание в золошлаковой смеси Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и R<sub>2</sub>O позволяет интенсифицировать (снизить температуру обжига) процессы обжига, а Δ*m*<sub>прк</sub> — снизить плотность теплоизоляционного керамического изделия.

Межсланцевую глину использовали в качестве связующего для получения теплоизоляционного материала. Она образуется при добыче горючих сланцев на сланцеперерабатывающих заводах (на шахтах) и по числу пластичности относится к высокопластичному глинистому

Таблица 1. Химический состав компонентов, мас. %

Компонент	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	R <sub>2</sub> O	Δ <i>m</i> <sub>прк</sub>
Золошлаковая смесь	55,30	14,56	6,4	1,51	0,5	4,78	16,5
Межсланцевая глина	47,03	16,80	5,6	10,90	2,1	3,40	12,8

сырью (число пластичности 27–32) с истинной плотностью 2,55–2,62 г/см<sup>3</sup>. Химический состав межсланцевой глины представлен в табл. 1.

В настоящей работе изложены вопросы кинетики выгорания угольных частиц при обжиге теплоизоляционного материала оптимального состава, мас. %: межсланцевая глина 80, золашлаковая смесь 20 [1–3]. Физико-механические показатели теплоизоляционного материала: предел прочности при сжатии 2,3–2,6 МПа, средняя плотность 0,75–0,9 г/см<sup>3</sup>, морозостойкость более 50 циклов, температура обжига 1150–1160 °С.

Для исследования состава газов, выделяющихся при обжиге теплоизоляционного материала, был использован хроматограф ХЛ-4 (см. рисунок) [4]. Хроматографический метод — это физико-химический метод разделения сложных смесей газов на составляющие компоненты. При этом происходит распределение компонентов смеси между двумя фазами, одна из которых неподвижная, а другая — подвижная. В газовой хроматографии, как известно, подвижной фазой является газ [4].

Процесс горения твердого углерода включает пять этапов [4–10]: 1 — доставка окислителя из атмосферы к поверхности раздела фаз путем молекулярной и конвективной диффузии; 2 — адсорбция молекул окислителя на поверхности графита; 3 — взаимодействие адсорбированного окислителя с атомами углерода и образование продуктов реакции, также адсорбированных на графите; 4 — десорбция продуктов реакции; 5 — удаление (редиффузия) продуктов в атмосферу. По мнению авторов публикаций [5, 7], процесс горения включает три стадии: диффузионную, адсорбционную и химическую.

Газовая среда, окружающая керамический материал при нагревании, как известно, является одним из движущих факторов интенсивности протекания физико-химических процессов. В начале термообработки до 180 °С из образцов выделяется остаточная вода [5, 6]. Изучение динамики газовой выделенности из исследуемого материала показывает, что в условиях нормального давления начиная с 250 °С в результате

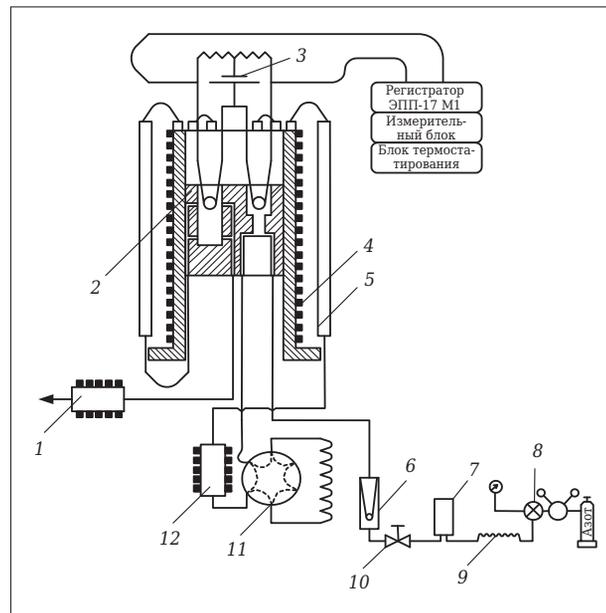


Схема устройства хроматографа ХЛ-4: 1, 4 — нагреватели; 2 — детектор; 3 — источник питания; 5 — колонка; 6 — ротаметр; 7 — осушитель газа; 8 — редуктор; 9 — капилляр; 10 — дроссель газов; 11 — кран-дозатор; 12 — испаритель жидкой пробы

разложения органических веществ наблюдается выделение H<sub>2</sub>, CO, SO<sub>3</sub> и CO<sub>2</sub>. При термообработке изделий в интервале 400–600 °С из теплоизоляционного материала удаляются летучие углеводороды, и в изделиях остаются частицы только одной (из четырех известных) аллотропических форм углерода — графита [4–7]. При 400–500 °С физическая адсорбция диоксида углерода на поверхности графита уступает место хемадсорбции без выделения CO [7–10]. Такая хемадсорбция приводит к возникновению на поверхности графита двух комплексов: кетенового CH<sub>2</sub> = C = O и кето > C = O (карбонильная группа).

Авторы публикации [10] полагают, что при нагреве теплоизоляционных материалов до 600 °С в большинстве случаев углеводороды удаляются из изделий. В изделиях остается только высокотемпературная устойчивая форма углерода — графит. С повышением температуры кетеновые комплексы становятся неустойчивыми и при 600–700 °С покидают

Таблица 2. Состав газовой среды, выделяющейся при обжиге керамического материала, %

Температура обжига, °С	H <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>
250	3,03	27,03	6,44	27,94	34,36	1,04
350	4,82	35,72	5,83	24,0	28,80	1,78
550	7,88	40,30	2,07	28,82	19,84	2,83
950	8,02	51,03	1,98	21,89	17,08	—
1050	6,20	70,25	1,90	5,07	16,58	—

поверхность графита, а на их месте возникают новые кетеновые комплексы [7–10].

Условия доставки окислителей и отвода продуктов реакций от поверхности графита во многом зависят от характера макропотоков дымовых газов. При этом различаются два случая [10]. Первый — ламинарное течение макропотока. У этого потока отсутствует составляющая, перпендикулярная границе раздела фаз, и поэтому ламинарный поток не увеличивает диффузию. Второй случай — турбулентное течение конвективного потока, которое характеризуется сложной траекторией движения струек газа.

В процессе нагрева органические примеси обугливаются (главным образом во внутренних слоях керамического материала, изолированных от доступа кислорода воздуха), распадаясь на летучие и углистые остатки, которые сгорают с трудом. Процесс этот аналогичен сухой перегонке топлива. Обугливание с образованием углистого остатка происходит в интервале 500–800 °С [6–8]. При термообработке керамических материалов выделяется газовая фаза, которая также является активным реагентом, влияющим на протекающие в этих материалах физико-химические процессы [9, 10].

Правильная оценка качественного состава и количественного соотношения компонентов газовой фазы будет способствовать выбору оптимальных режимов термообработки для получения керамического материала с заданными свойствами.

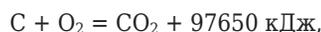
При термообработке до 180 °С суммарное содержание газов-восстановителей (водорода и угарного газа), как следует из табл. 2, составляет более 30 %, что свидетельствует о восстановительном характере газовой среды. В интервале 350–550 °С в составе газовой среды отмечается интенсивное уменьшение содержания окислителя (кислорода) и нейтрального газа (азота). В интервале 550–1050 °С наблюдается незначительное снижение содержания кислорода и азота.

При 800 °С и выше формируются пиролитические формы углерода (кокс и полукокс) [5]. Пиролитический углерод (пироуглерод) — это углеродные пленки, образующиеся на нагретых поверхностях из-за термического нарушения целостности вещества. Это класс материалов, различающихся структурой и свойствами, объединенных принципом получения. Получение пироуглерода происходит путем кристаллизации из газовой фазы на гладкой поверхности [5]. Изначально происходит образование «зародышей» на поверхности и их рост, в процессе которого атомы газообразного углерода взаимодействуют с углеродом «зародышей»,

в результате чего образуется твердая структура. Рост твердой структуры происходит в виде конуса; медленно расширяясь, основания конусов заполняют всю поверхность образования «зародышей», превращаясь в цилиндры. Внутренние слои углеродных атомов образуют графитоподобную структуру, свойства их определяются температурами образования: низкотемпературный (800–1100 °С) и высокотемпературный (1400–2200 °С) [5].

Исследования показали, что основными компонентами газовой фазы при обжиге керамических материалов при 950 °С являются CO<sub>2</sub>, CO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и некоторые другие газы (см. табл. 2) [4, 5, 11–15]. При выгорании образовавшегося углистого остатка происходят следующие процессы [7, 10–15]: диффузия кислорода через слой керамики; химические реакции горения с образованием внутри керамики оксида углерода; диффузия образовавшегося оксида углерода к поверхности керамики; сгорание оксида углерода за счет кислорода окружающей среды.

Скорость выгорания углистого остатка определяется самым медленным процессом — диффузией кислорода через слой керамики. Кислород вступает в соединение с углеродом по следующим реакциям [5, 7, 10–15]:



Присутствие внутри керамического материала кокса при недостатке кислорода приводит к восстановлению CO<sub>2</sub> до оксида углерода по реакции



При обжиге керамических изделий выгорание углерода усложняется процессом дегидратации, которая при скоростном обжиге проходит при температурах выше 500 °С. Потеря химически связанной воды в монтмориллоните (межсланцевая глина) происходит постепенно в широком интервале (от 200 до 800 °С и выше, но основная масса воды выделяется выше 500 °С) в зависимости от характера и степени изоморфного замещения в кристаллической решетке одних атомов другими. В связи с этим затрудняются диффузия кислорода и, соответственно, выгорание углистого остатка. Количество органических примесей в образцах, обожженных в парогазовой среде и в среде водяного пара в интервале 750–850 °С, в 6–7 раз больше, чем в образцах, обожженных в окислительной среде [5, 7, 10–15].

Начиная с 800 °С взаимодействие CO<sub>2</sub> с графитом происходит не только с поверхности

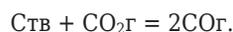
[5, 7, 10–15]. Молекулы CO<sub>2</sub> внедряются в межбазисное пространство графита и ослабляют связи поверхности атомов углерода с массой кристалла графита, подготавливая их к взаимодействию с внешними молекулами CO<sub>2</sub>. По данным [5, 7, 10–15], реакция CO<sub>2</sub> с С слагается из двух этапов: первый — молекулы CO<sub>2</sub>, ударяясь о поверхность графита, образуют адсорбированный и газообразный оксид углерода. Эта часть реакции идет по схеме реакции первого порядка. Как известно, реакция первого порядка описывается уравнением  $-dc/d\tau = k_1c$  в дифференциальной форме или уравнением  $k_1 = (1/\tau)\ln(c_0/c)$  в интегральной форме, где  $c_0$  — начальное содержание (концентрация) графита, %;  $c$  — содержание графита, %, в момент  $\tau$  [15].

Второй этап — десорбция адсорбированного оксида углерода: реакция идет по схеме второго порядка. Кинетическое уравнение реакции второго порядка при постоянном значении диоксида углерода в дифференциальной форме описывается уравнением  $-dc/d\tau = k_2c^2$  или  $k_2 = (1/\tau)(1/c - 1/c_0)$  [10].

Эксперименты, проведенные в условиях глубокого вакуума, показали [5, 7, 10–15], что в результате реакции H<sub>2</sub>O с С образуются только СО и Н<sub>2</sub>, и притом только в эквимолекулярных количествах. В интервале 750–1050 °С молекулы воды, ударяясь о поверхность графита, распадаются на кетеновые комплексы (CH<sub>2</sub> = C = O)<sub>адс</sub> и адсорбированные атомы водорода (H)<sub>адс</sub>:



Адсорбционный комплекс (H)<sub>адс</sub> является более прочным, чем кето-комплекс. При 900 °С и выше кето-комплекс разлагается и, таким образом, на каждый 1 моль израсходованного CO<sub>2</sub> образуется 2 моля СО, т. е. образование СО соответствует обычной стехиометрической реакции [7, 15–17]:

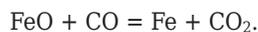
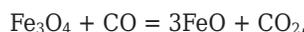


Присутствие в теплоизоляционном материале при спекании невыгоревшего углерода может явиться причиной не только образования черной сердцевинки, но и появления трещины.

Эти дефекты особенно характерны для масс с повышенным содержанием органики. Дымовые газы [18], поступающие в зону подогрева изделий (температура материала 400–1000 °С), содержат следующие соединения, об. %: H<sub>2</sub>O 16,0, CO<sub>2</sub> 7,0, O<sub>2</sub> 8,0, N<sub>2</sub> 69,0. Совместное рассмотрение взаимодействия окислителей с углеродом крайне затруднительно, поскольку реакции проходят одновременно и тепловые эффекты накладываются друг на друга [18–20].

Углеводородные соединения, создавая восстановительную среду при низких температурах, способствуют переводу в расплав минеральной части при 1100–1200 °С [18–20]. По данным [10], на образование газовой фазы тратится графит, масса которого составляет всего 0,1 % массы изделия. Избыточное содержание углерода снижает прочность изделия [18].

Если в процессе спекания с участием жидкой фазы углеродистый материал будет изолирован от воздуха до того, как он полностью окислится, то при более высоких температурах он будет действовать как восстановитель [18–20]. В интервале 1050–1100 °С значительно ускоряется процесс восстановления железа [18–20]. При этом в железосодержащих массах оксид железа может восстанавливаться по реакциям:



При температуре обжига 1100 °С в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют (табл. 3). При повышении температуры обжига до 1100 °С образуются более сложные соединения (анортит, муллит), которые придают изделию высокую механическую прочность [18–20]. Сердцевина и поверхность образца сильно различаются содержанием Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и FeO. На поверхности керамического материала количество Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> больше, чем количество FeO, а в середине образца — наоборот (см. табл. 3).

При поддержании окислительной среды в зоне обжига более темный цвет возникает только в сердцевине обожженного изделия. При наличии в зоне обжига СО изделие име-

Таблица 3. Содержание органических соединений и оксидов железа в керамическом теплоизоляционном материале, %

Теплоизоляционный материал	Органика	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
Исходная масса	9,54	6,32	1,02
Черная сердцевина керамики, обожженной при 1100 °С	Следы	1,92	4,13
Поверхностный слой керамики	»	4,02	2,15

ет две зоны — более темный цвет в сердцевине и более светлый на поверхности; между ними располагается зона, имеющая нормальный для данной массы цвет.

В рассмотренном случае источником восстановления  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в  $\text{FeO}$  и образования черной сердцевины в керамическом материале является выгоревший углерод, а на поверхности  $\text{CO}$  в газовой среде зоны обжига.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В начале термообработки до  $180^\circ\text{C}$  из образцов выделяется остаточная вода. Изучение динамики газовой выделенности из исследуемого материала показывает, что в условиях нормального давления начиная с  $250^\circ\text{C}$  в результате разложения органических веществ наблюдаются выделения  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_3$  и  $\text{CO}_2$ . При  $400\text{--}500^\circ\text{C}$  физическая адсорбция диоксида углерода на поверхности графита уступает место хемадсорбции без выделения  $\text{CO}$ . Такая хемадсорбция приводит к возникновению на поверхности графита двух комплексов — кетенового  $\text{CH}_2 = \text{C} = \text{O}$  и кето  $> \text{C} = \text{O}$  (карбонильная группа).

При нагреве теплоизоляционных материалов до  $600^\circ\text{C}$  углеводороды удаляются из гранул. В изделиях остается только высокотемпературная устойчивая форма углерода — графит. С повышением температуры кетеновые комплексы становятся неустойчивыми и при  $600\text{--}700^\circ\text{C}$  покидают поверхность графита, а на их месте возникают новые кетеновые комплексы. При  $900^\circ\text{C}$  и выше разлагается кето-комплекс, образование  $\text{CO}_2$  соответствует обычной стехиометрической записи реакции. В интервале  $1050\text{--}1100^\circ\text{C}$  значительно ускоряется процесс восстановления железа. При температуре обжига  $1100^\circ\text{C}$  в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют.

## Библиографический список

1. Пат. 2362749 РФ, МПК С 04 В 14/24. Композиция для производства пористого заполнителя / Денисов Д. Ю., Ковков И. В., Абдрахимов В. З., Журавль Л. В.; заявитель и патентообладатель Самарский государственный университет; заявл. 03.12.07; опубл. 27.07.09, Бюл. № 21.
2. Абдрахимов, В. З. Вовлечение отходов углеобогащения в процесс производства керамических материалов / В. З. Абдрахимов, В. А. Куликов, И. В. Ковков // Кокс и химия. — 2010. — № 11. — С. 39—43.
3. Абдрахимов, В. З. Теоретические и технологические аспекты использования техногенного сырья в производстве теплоизоляционных материалов / В. З. Абдрахимов, Д. Ю. Денисов. — Самара : Самарская академия государственного и муниципального управления, 2010. — 72 с.
4. Абдрахимова, Е. С. Методика исследования состава газов, выделяющихся при обжиге керамического композиционного материала на основе бейделлитовой глины и продукта сгорания от базальтовой шихты / Е. С. Абдрахимова, Е. В. Вдовина // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 9. — С. 25—29.
5. Абдрахимова, Е. С. Исследование процессов горения при обжиге теплоизоляционного материала из техногенного сырья цветной металлургии и энергетики / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Журнал прикладной химии. — 2012. — Т. 82, вып. 8. — С. 1247—1252.
6. Абдрахимова, Е. С. Исследование тепломассообменных процессов при обжиге керамических материалов из техногенного сырья / Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Материаловедение. — 2008. — № 1. — С. 18—20.
7. Есин, О. А. Физическая химия пирометаллургических процессов. Часть 1. Реакции между газообразными и твердыми фазами / О. А. Есин, П. В. Гельд. — Свердловск : Металлургия, 1962. — 671 с.
8. Абдрахимов, В. З. Производство керамических изделий на основе отходов энергетики и цветной металлургии / В. З. Абдрахимов. — Усть-Каменогорск : Восточно-Казахстанский государственный технический университет, 1997. — 289 с.
9. Абдрахимов, В. З. Химическая технология керамического кирпича с использованием техногенного сырья : учебное пособие рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию в области строительства в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению 653500 «Строительство» / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова. — Самара, СГАСУ, 2007. — 432 с.
10. Петров, В. П. Современное состояние и перспективы развития строительного материаловедения : материалы восьмых академических чтений РААСН. СГАСУ / В. П. Петров, Б. А. Максимов. — Самара, 2004. — С. 407—410.
11. Абдрахимов, В. З. Исследование железосодержащего традиционного природного и техногенного сырья на спекание керамических материалов. Влияние ионов  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  на образование низкотемпературного муллита / В. З. Абдрахимов. — Самара : Самарский государственный архитектурно-строительный университет, 2009. — 427 с.
12. Вдовина, Е. В. Исследование методом ядерной гамма-резонансной спектроскопии черной сердцевины при обжиге бейделлитовой легкоплавкой глины / Е. В. Вдовина, В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Изв. вузов. Строительство. — 2007. — № 5. — С. 26—32.
13. Вдовина, Е. В. Определение черной сердцевины при обжиге кирпича из бейделлитовой глины и продукта сгорания базальтовой шихты / Е. В. Вдовина, Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Башкирский химический журнал. — 2007. — Т. 14, № 2. — С. 102—104.

14. **Абдрахимов, В. З.** Образование черной сердцевины при скоростном обжиге плиток для полов / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Стекло и керамика. — 1999. — № 8. — С. 30—32.

15. **Абдрахимов, В. З.** Образование черной сердцевины при скоростном обжиге керамических материалов / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова // Строительные материалы, оборудование XXI века. — 2006. — № 2. — С. 64, 65.

16. **Сайбулатов, С. Ж.** Золокерамические стеновые материалы / С. Ж. Сайбулатов, С. Т. Сулейменов, А. В. Ралко. — Алма-Ата : Наука, 1982. — С. 292.

17. **Сулейменов, С. Т.** Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах и минеральных отходах промышленности / С. Т. Сулейменов. — М. : МОНУСКРИП, 1996. — С. 298.

18. **Абдрахимов, В. З.** Керамические строительные материалы / В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, Д. Ю. Денисов. — Самара : Самарская академия государственного и муниципального управления, 2010. — 364 с.

19. **Абдрахимов, В. З.** Роль оксида железа в формировании структуры керамических материалов / В. З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2009. — № 2. — С. 31—37.

20. **Абдрахимов, В. З.** Исследование фазового состава теплоизоляционного материала на основе твердых солевых отходов и жидкого стекла / В. З. Абдрахимов // Изв. вузов. Строительство. — 2008. — № 11/12. — С. 33—38. ■

Получено 27.11.11

© В. З. Абдрахимов, Е. С. Абдрахимова, 2013 г.

ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВО PROMAT GMBH  
 ДЕПАРТАМЕНТ «ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ ИЗОЛЯЦИЯ»  
 РОССИЯ, 115477, МОСКВА, УЛ. КАНТЕМИРОВСКАЯ, 58  
 ТЕЛЕФОН: + 7 495 231 2798, ФАКС: + 7 495 231 7977  
 ИНТЕРНЕТ: WWW.PROMAT.RU, E-MAIL: HPI@PROMAT.RU



## PROMALIGHT® НАНОПОРИСТЫЕ ПЛИТЫ ДЛЯ ИЗОЛЯЦИИ СТАЛРАЗЛИВОЧНЫХ КОВШЕЙ



- Снижение температуры оболочки на 45 °С
- Снижение температуры поступающего расплава на 13 °С
- Снижение скорости остывания с 0,71 до 0,63 °С/мин
- Увеличение стойкости арматурного слоя
- Уменьшение времени на ремонт
- Увеличение объема стальной ковша на 5 %

РЕКЛАМА