

ЗАЩИТА ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ УСТАНОВОК ГАЗООЧИСТКИ ОГНЕУПОРНЫМИ БЕТОНАМИ

Денисов Д.Е., Жидков А.Б.

*(ООО «Алитер-Акси»; 193230, Санкт-Петербург, ул.Дыбенко, д.7;
тел.(812) 571-36-69; факс (812) 588-08-17; e-mail office@aliter.spb.ru)*

Доклад на конференции «Газоочистка-2006»

ООО «Алитер-Акси» основано в 1989 году. В настоящее время в компании работают более 120 человек, оборот в 2005 г. составил 387 млн.руб.

Основными направлениями деятельности ООО «Алитер-Акси» являются:

- проектирование промышленных печей и тепловых агрегатов;
- проектирование огнеупорных футеровок;
- изготовление промышленных печей в виде крупногабаритных футерованных блоков;
- изготовление футерованных топок, циклонов, газоходов, пылепроводов и других футерованных металлоконструкций;
- изготовление огнеупорных изделий по бетонной технологии;
- изготовление сухих огнеупорных смесей.

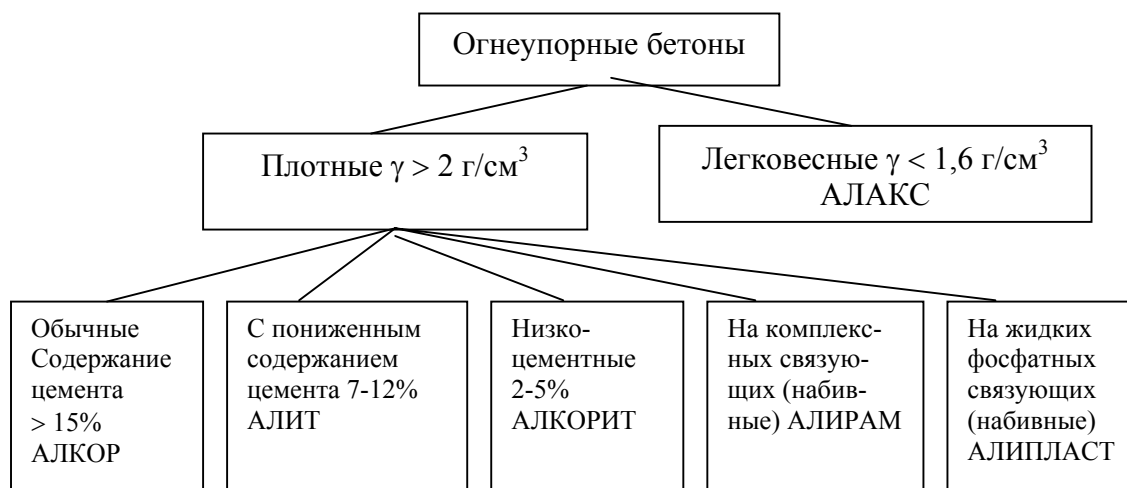
В обороте фирмы в 2005 году доля денежных поступлений от продажи футерованных элементов промышленных печей составила 60%, от продажи огнеупорных смесей – 33%, от проектных работ – 7%.

Объем производства сухих огнеупорных смесей ежегодно увеличивается. Используя около 50 наименований сырьевых материалов, как российского происхождения, так и закупаемых за рубежом, мы производим около 10 тыс.тонн в год смесей и изделий с очень широким диапазоном свойств: с

температурой применения до 1800°C, с плотностью от 0,7 г/см³ до 3,2 г/см³, прочностью до 250 Н/мм², содержанием Al₂O₃ до 99%.

Из широкого спектра изготавливаемых нами бетонов всегда можно выбрать материал, наиболее подходящий к конкретным условиям эксплуатации с оптимальным сочетанием огнеупорности, термостойкости, теплопроводности, прочности.

Огнеупорные бетоны, выпускаемые ООО «Алитер-Акси», можно разделить на следующие основные группы:



АЛАКС – легковесные смеси с низкой теплопроводностью на основе пористых заполнителей.

Смеси с высоким содержанием цемента *АЛКОР* изготавливаются на основе алюмосиликатных заполнителей (шамот, боксит, корунд различного химического и минералогического состава, плотности и водопоглощения) и алюминаткальциевых цементов (Ciment Fondu Lafarge, Secar-51, Secar-71, Secar-80). Содержание цемента более 15%.

Бетоны с пониженным содержанием цемента *АЛИТ* и низкоцементные *АЛКОРИТ*, содержат соответственно 7-12% и менее 5% цемента. Их состав сложен и сбалансирован, кроме зернистых заполнителей и цемента они содержат ультрадисперсные порошки, дефлокулянты, регуляторы механизма и скорости схватывания и твердения. Бетоны АЛИТ и АЛКОРИТ характеризуются высокой огнеупорностью, плотностью, прочностью, термостойкостью, абразивостойкостью, химической стойкостью. По своим характеристикам они соответствуют высококачественным кирпичам.

Переходя к вопросу защиты тепловых агрегатов установок газоочистки огнеупорными бетонами, в первую очередь следует остановиться на топках с бетонной футеровкой. В топках происходит первая стадия многих процессов очистки газов – окисление (сжигание), содержащихся в них соединений серы, хлора, щелочных металлов и других веществ.

Традиционно топки футеруются огнеупорными кирпичами. Однако, сегодня, во многом благодаря тому, что современный уровень развития технологии позволяет производить огнеупорные бетоны, которые не уступают, а зачастую и превосходят формованные огнеупоры (кирпичи), все большее распространение получают топки с бетонной футеровкой.

Основные преимущества бетонной футеровки по сравнению с «классической» кирпичной следующие:

- исключается необходимость использования кирпичей, в том числе фасонных и клиновых, удовлетворяющих жестким требованиям к размерам и кривизне, которые достаточно дефицитны в настоящее время. Исключаются операции резки и шлифования кирпичей;

- укладка кирпичей в топке, устройство кружал требуют высокой квалификации футеровщика, что сегодня в значительной степени утеряно;

- за счет использования керамических, металлических анкеров во внутреннем слое топки можно использовать волокнистые теплоизоляционные материалы, легковесные бетоны с плотностью $0,5-1,5 \text{ г/см}^3$, что облегчает футеровку, повышает ее теплоизолирующие свойства.

- при эксплуатации, несмотря на образование трещин, футеровка сохраняет свою геометрию. В случае применения кирпичей при недостаточно высоком качестве кладки, при спекании мертеля и локальном повреждении футеровки возможно ее проседание или обрушение (особенно в топках большого диаметра);

- бетонная футеровка обладает значительно более высокой газоплотностью, чем кирпичная; плотное прилегание бетона к металлическому корпусу позволяет исключить циркуляцию горячих газов, ведущую к перегреву и

прогарам. Это особенно важно при наличии перепада давления внутри топки (например, в районе пережимов);

- локальный ремонт бетонной футеровки значительно проще, чем ремонт кирпичной;

- выбор огнеупорных бетонов сегодня намного шире, чем фасонных изделий (кирпичей), поэтому под условия работы отдельно взятой топки можно подобрать бетоны, обладающие более высокой стойкостью.

Особенно целесообразно применение бетонов при изготовлении новых топок. В этом случае футерованная топка часто может быть изготовлена «под ключ» на специализированном предприятии. Внутренние слои из волокнистых теплоизоляционных материалов и легковесных бетонов наносятся секторами при вращении металлического корпуса в горизонтальном положении. Рабочий слой наносится заливкой в опалубку при вертикальном положении корпуса. Изготовленная по такой технологии топка может транспортироваться на большие расстояния.

В табл.1 приведены технические характеристики тех материалов, которые наиболее часто используются для футеровки топок.

Наименование материалов	Химический состав, %				Плотность после обжига при 800°C, г/см ³	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²		Температура применения, °C	Теплопроводность при средней температуре 500°C, Вт/м°C
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO		через 3 сут. после формования	после обжига при 800°C		
АЛКОР-96	96	<0,1	<0,1	3,6	2,8	40	70	>1700	2,5
АЛКОР-94	94	<0,1	<0,1	5	2,8	70	70	>1700	2,5
АЛКОРИТ-85/0,6	87	8	1	0,6	2,9	20	70	1700	2,2
АЛКОРИТ-85/1,0	87	8	1,1	0,9	2,9	30	100	1600	2,2
АЛКОРИТ-85/1,5	86	8	1,1	1,5	2,9	40	130	1550	2,2
АЛКОРИТ-53/2,5	52	43	1	2,3	2,4	30	80	1450	1,3
АЛКОРИТ-53/1,5	54	43	0,7	1,5	2,4	20	60	1500	1,3
АЛИТ-72А	85	9	1,1	2,9	2,7	50	100	1500	1,9
АЛИТ-42	48	44	2,2	4,8	2,1	40	70	1350	1,1
АЛАКС-1,4-1350А	49	38	2	10	1,4	15	7	1350	0,50

Наименование материалов	Химический состав, %				Плотность после обжига при 800°C, г/см ³	Предел прочности при сжатии, Н/мм ²		Температура применения, °С	Теплопроводность при средней температуре 500°C, Вт/м°К
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO		через 3 сут. после формования	после обжига при 800°C		
АЛАКС-1,2-1200	38	34	9	15	1,2	7	4	1200	0,30
АЛАКС-0,8-1000	32	26	12	18	0,8	1,5	1,0	1000	0,20
АЛАКС-0,6-1000	33	18	14	24	0,6	1,0	0,8	1000	0,16
АЛИРАМ-72АР	80	11	1,3	3,5	2,9	50	200	1400	2,0

Футеровки топок могут подвергаться следующим агрессивным воздействиям:

- высокая температура;
- перепады температур;
- химическое воздействие;
- абразивное воздействие.

Подходы к решению проблем футеровки топок, эксплуатирующихся в различных условиях, покажем на нескольких примерах.

Высокотемпературные топки на природном газе или мазуте (установки каталитического крекинга, котлы-утилизаторы, котельные топки и т.п.)

В топке для получения дымовых газов (тепла) температура достигает 1600°C и более. Химическое и абразивное воздействие на футеровку отсутствует. Для обеспечения низкой температуры металлического корпуса, снижения толщины, массы и стоимости бетонной футеровки она обычно выполняется многослойной (рис.1). Высокотемпературный рабочий слой, как правило, должен иметь толщину не менее 100 мм. В зависимости от рабочей температуры в топке для рабочего слоя применяют смеси АЛКОР-96, АЛКОР-94, либо низкоцементные бетоны серий АЛИТ или АЛКОРИТ. Низкоцементные бетоны, обладающие высокой стойкостью к температурным перепадам, особенно целесообразно применять для футеровки топок, работающих с частыми остановками или в неравномерном режиме. Под рабочим

слоем располагают один или несколько слоев теплоизоляционных бетонов серии АЛАКС и/или волокнистой теплоизоляции. Толщины внутренних слоев определяют путем температурного расчета с учетом предельной температуры эксплуатации используемых материалов. Каждый последующий слой имеет более низкую температуру применения, плотность и теплопроводность.

Для армирования футеровки при температурах до 1200°С применяют металлические анкера, выше - комбинацию из металлических и керамических анкеров (рис.1).

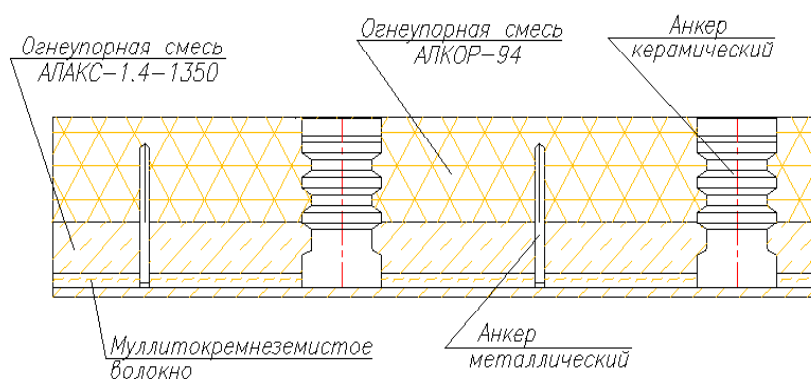


Рис.1. Схема футеровки высокотемпературной топки

Такие топки с бетонной футеровкой можно изготавливать и поставлять на предприятия в сборе (рис.2).



Рисунок 2. Футерованная огнеупорным бетоном топка установки каталитического крекинга Г 43-107 на отгрузке.

Топки для сжигания серосодержащих газов

При сжигании в топке газов, содержащих соединения серы (сероводород, элементарная сера, другие соединения), возникают два основных вида воздействия на футеровку и металлический корпус:

- низкотемпературное воздействие со стороны конденсата, содержащего серную кислоту;
- высокотемпературное воздействие со стороны оксидов серы, приводящее к образованию сульфатов и сульфидов.

Оксиды серы, образующиеся при горении серосодержащего топлива, при взаимодействии с парами воды образуют сернистые кислоты, конденсирующиеся в бетонной футеровке и на металлическом корпусе, когда температура становится ниже точки росы. В зависимости от концентрации оксидов серы и воды конденсация кислоты может происходить при температуре 60-160°C. Во избежание этого, футеровку следует проектировать таким образом, чтобы температура корпуса при работе топки составляла 150-250°C. При невозможности соблюдения этого требования (например, из-за необходимости соблюдения правил техники безопасности или из-за частых остановок топки) металлический корпус защищают специальными органическими покрытиями с высокой адгезией и низкой проницаемостью, которые эффективно экранируют обечайку вплоть до температуры 200°C.

Поскольку температура в топках такого типа очень высока, для их футеровки традиционно используют высокоогнеупорные корундовые бетоны. Однако, при выборе материала для футеровки следует учитывать также химическое воздействие на футеровку.

При высоких температурах серосодержащие газы могут реагировать с компонентами огнеупорного бетона с образованием сульфатов и сульфидов, конденсирующихся в порах футеровки. Наименьшей термодинамической устойчивостью в среде кислых газов обладают основные оксиды, поэтому содержание в футеровке CaO и Na₂O должно быть минимальным. Очевидно, низкоцементные бетоны АЛКОРИТ, содержащие незначительное количество CaO и имеющие плотную низкопористую структуру, что затрудняет проник-

новение агрессивных газов в поры футеровки, обладают более высокой стойкостью к высокотемпературной коррозии, чем классические бетоны с высоким содержанием цемента и, соответственно, CaO.

Для достижения наименьшей пористости важен также способ изготовления бетона. С этой точки зрения нанесение рабочего слоя футеровки путем заливки в опалубку предпочтительнее торкретирования из пушки. На рис.3 показаны элементы топки установки элементарной серы, успешно работающие сегодня. Аналогичный подход может быть использован для изготовления футеровок для дожига кислых газов и жидкостей.



Рисунок 3. Вкладыши топки установки элементарной серы.

Топки с абразивным воздействием на футеровку

При сжигании твердого топлива особенно в топках с кипящим слоем абразивное воздействие на футеровку может быть весьма велико.

Например, в аэрофонтанной топке (Нарвская ГРЭС, Эстония) зернистый и пылевидный сланец поднимается на высоту около 30 м и оказывает очень сильное абразивное и ударное воздействие на футеровку. Температура в топке достигает 950°C. Проектная футеровка (два слоя: теплоизоляционный – из

диатомитового кирпича и рабочий из карбидкремниевый и/или корундовый кирпич) работала неудовлетворительно и требовала частой замены.

Западной фирмой была предпринята попытка решения проблемы путем нанесения тонкого рабочего слоя из корундового абразивостойкого бетона, однако, несмотря на высокое качество этого бетона, футеровка была «смыта» в течение нескольких дней.

ООО «Алитер-Акси» был разработан проект футеровки, предусматривающий замену кирпича на бетон АЛИТ-42Р. Около 50 тонн бетона были уложены слоем толщиной 150 мм поверх изоляции из диатомитового кирпича. Топка успешно эксплуатируется, в настоящее время бетоном АЛИТ-42Р футеруются другие части установки, работающие в аналогичных условиях.

На применении огнеупорных бетонов для защиты тепловых агрегатов от абразивного износа следует остановиться подробнее.

Проблема защиты оборудования от воздействия высоких температур и одновременного абразивного износа движущимися пылевидными, зернистыми и кусковыми материалами существует в цементной промышленности, энергетике при использовании твердого топлива, в черной и цветной металлургии (доменный процесс, коксовые батареи, различные обжиговые и плавильные печи и т.п.), в нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности (например, в различных каталитических процессах), на мусоросжигательных установках и т.п.

Нами накоплен очень большой опыт создания, производства, исследования и применения огнеупорных бетонов, обладающих высокой абразивостойкостью.

На рис.4 приведены значения абразивостойкости некоторых бетонов, выпускаемых ООО «Алитер-Акси». Абразивостойкость определялась по стандарту ASTM C-704 в исследовательском центре фирмы “Causeway Steel Products Ltd” (Великобритания). В ходе этих испытаний абразивостойкость определяется по объему лунки, образующейся при воздействии на образец струи песка или карбида кремния. Чем меньше глубина или объем лунки, тем выше абразивостойкость.

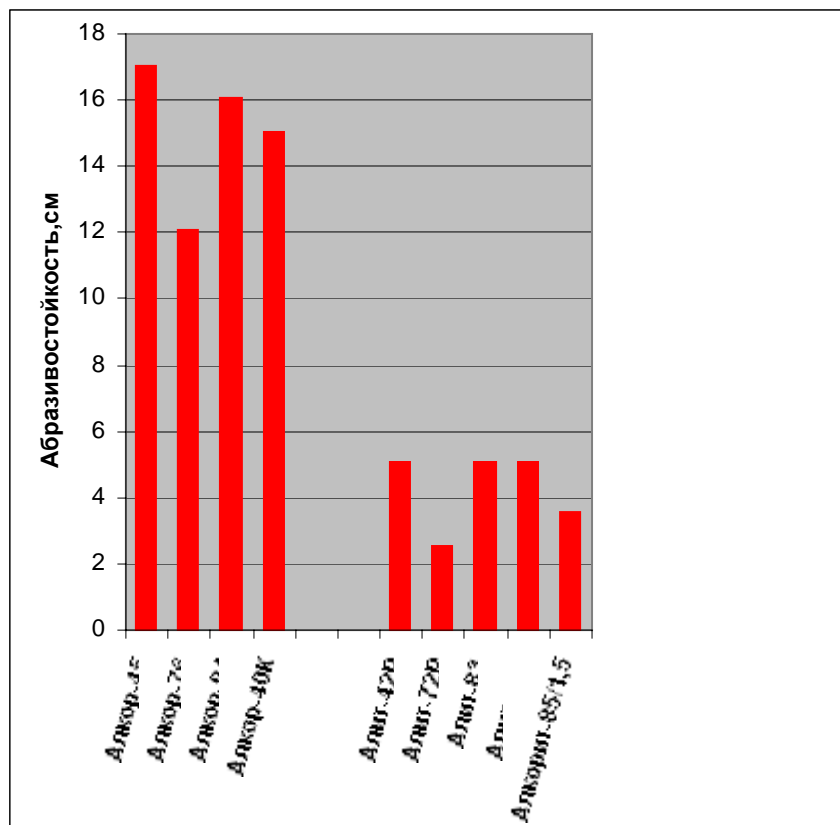


Рисунок 4. Абразивостойкость бетонов АЛИТ и АЛКОР.

Обращает на себя внимание то, что наибольшей абразивостойкостью обладают низкоцементные бетоны серии АЛИТ и АЛКОРИТ, имеющие очень плотную и прочную структуру. Их абразивостойкость превышает показатели соответствующих традиционных бетонов в несколько раз. Многие зарубежные абразивостойкие бетоны имеют абразивостойкость 8-12 см³ (по ASTM C-704), абразивостойкость менее 6 см³ (как у всех испытанных бетонов серий АЛИТ и АЛКОРИТ) считается экстремально высокой.

Подход к выбору конструкции абразивостойких бетонных футеровок и материалов для ее изготовления проиллюстрируем конкретными примерами.

Тонкослойная абразивостойкая футеровка

В случае если футеровка предназначена исключительно для защиты от абразивного износа, а задача сохранения тепла и снижения температуры металла корпуса не ставится (например, при низкой рабочей температуре или при футеровке внутренних устройств тепловых агрегатов, подвергающихся двухстороннему нагреву), абразивостойкий бетон может наноситься тонким

слоем толщиной 20-25 мм. Армирование осуществляется гексагональной панцирной сеткой или S-образными анкерами (рис.5 а,б).

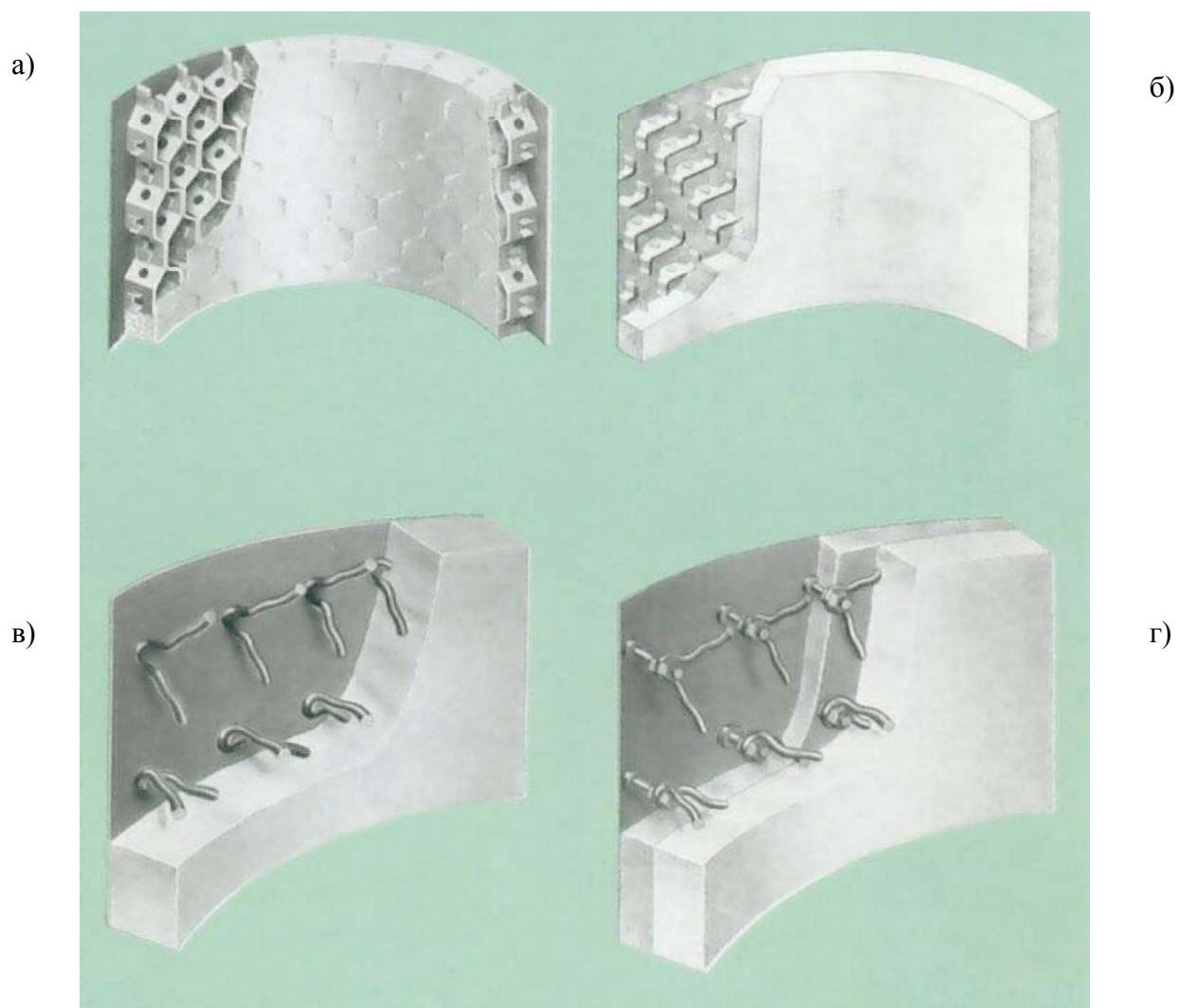


Рисунок 5. Схемы армирования абразивостойких футеровок.

В нефтепереработке по такой схеме футерованы, например, внутренние циклоны реактора и регенератора установок каталитического крекинга с пылевидным катализатором типа 1А-1М, ГК-3, Г-43-107, которые эксплуатируются в условиях двухстороннего нагрева при температуре 500-700°С. Длина циклонов составляет 5-7 м, они изготавливаются из нержавеющей стали. Десятки циклонов, изготовленных на нашем производстве или футерованных на месте, эксплуатируются на многих предприятиях нефтеперерабатывающей промышленности в Уфе, Ангарске, Лисичанске и Кременчуге(Украина).

Другим примером реализации такой конструкции могут быть циклоны, газоходы и пылепроводы, предназначенные для очистки и транспортировки

уходящих газов, содержащих сланцевую золу, на Нарвской ГРЭС в Эстонии (рис.6).



Рисунок 6. Газоход Нарвской ГРЭС.

Ранее их футеровали керамическими кислотостойкими плитками или обычным бетоном на основе шамотного заполнителя и глиноземистого цемента. Такая футеровка довольно быстро изнашивается, например, на поворотных участках дымоходов сквозные отверстия появляются через 6-12 мес эксплуатации. Использование абразивостойкого бетона, армированного металлической фиброй (иголками длиной 20-30 мм и сечением 0,5 мм), позволило решить проблему защиты газоходов и пылепроводов от абразивного износа.

Однослойная абразивостойкая и теплоизоляционная бетонная футеровка

В упоминавшихся ранее установках каталитического крекинга с пылевидным катализатором многие элементы подвержены абразивному износу при повышенных температурах.

На рис.7 схематично изображена установка каталитического крекинга. Стрелками обозначено направление движения катализатора. Вопросы защи-

ты различных участков установок каталитического крекинга абразивостойкими бетонами подробно освещены в технической литературе. Особый интерес представляет сопоставление различных подходов к футеровке транспортных линий, регенератора и реактора.

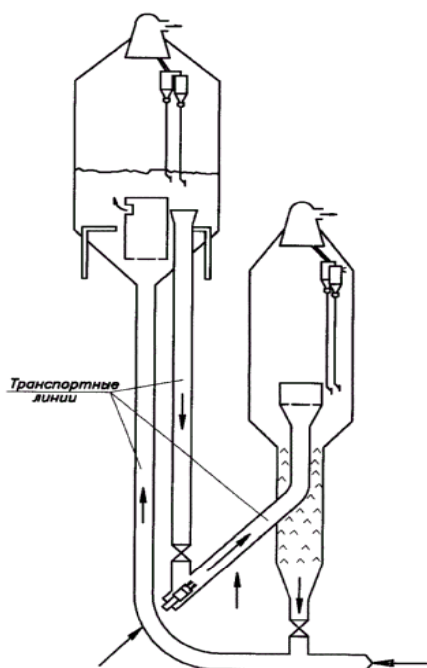


Рисунок 7. Схема футеровки установки каталитического крекинга.

Транспортные линии представляют собой сложную систему трубопроводов диаметром 1-1,5 м для транспортировки пылевидного катализатора на высоту до 70 м при температуре 450-700°C. Абразивное воздействие на футеровку, особенно на поворотных участках, огромно. В реакторе и регенераторе, имеющих диаметр 10 м и высоту 30м, скорости движения катализатора не столь высоки, однако проблемы с их футеровкой возникают довольно часто.

Футеровка транспортных линий, реактора и регенератора выполняет функции как абразивной защиты, так и теплоизоляции. Поэтому первоначально эти участки установок каталитического крекинга футеровали в два слоя: первый слой – теплоизоляционный из легковесного бетона, второй – по панцирной сетке или по V-образным анкерам, наваренным на стойки, из жаростойкого бетона на основе плотных заполнителей. Эта конструкция обес-

печивала теплосбережение, но не всегда обладала достаточной абразивостойкостью. Локальные повреждения в рабочем слое зачастую приводили к полному разрушению этого участка футеровки в течение нескольких недель. Поэтому сейчас как в России, так и за рубежом предпочтение отдают однослойной футеровке (рис.5в) несмотря на дополнительные потери тепла, которые при этом возникают, тем более что сейчас появились бетоны с пониженным содержанием цемента (например, бетон АЛИТ-42Р производства ООО «Али-тер-Акси»), превосходящие по абразивостойкости традиционные высокоглиноземистые и корундовые бетоны, но обладающие более низкой теплопроводностью. Мы рекомендуем использовать их для однослойной футеровки транспортных линий. Опыт показал, что для футеровки реактора и регенератора наилучшим решением является нанесение торкрет-пушкой одного слоя теплоизоляционного бетона на основе легковесного шамота АЛАКС-1,4-1350, абразивостойкость которого оказалась достаточной. Тысячи тонн бетонов производства ООО «Али-тер-Акси» на протяжении многих лет с успехом эксплуатируются на установках каталитического крекинга в Уфе, Ангарске, Ярославле, Рязани, Туркменбаши (Туркмения), Лисичанске и Кременчуге (Украина).

Однослойная бетонная футеровка может быть применена для защиты высокотемпературных газоходов, испытывающих абразивное воздействие. Так, при капитальном ремонте газоходов шахтных печей Южно-Уральского Никелевого комбината диаметром около 3 м (рис.8) футеровка из шамотного кирпича заменена на бетонную из бетона Алкор-45 толщиной до 250 мм. Кирпичная футеровка имела стойкость около 6 месяцев. Причинами выхода газохода из эксплуатации являлся абразивный износ с последующим выпадением отдельных кирпичей, в основном на поворотных и сводовых участках кольцевой кладки. Выполняющему функции генподрядчика ООО «Группа Магнезит» было поставлено 150 тн смеси Алкор-45. Футеровку наносили методом торкретирования.



Рисунок 8. Газоходы шахтных печей Южно-Уральского Никелевого комбината.

Перечисленные примеры показывают лишь часть возможностей использования бетонов в аппаратах с высокими температурными, механическими нагрузками, работающими в агрессивных средах. Огнеупорные бетоны могут успешно применяться в аппаратах (топках, реакторах), работающих в сильнощелочных, восстановительных средах, в условиях циклических температурных нагрузок. Успех этих работ определяется правильным анализом условий работы аппарата, выбором огнеупорных материалов и конструкции футеровки и технологии ее изготовления.