

Рис. 2. Схема установок каталитического крекинга IA-IV (а), ГК-3 (б), Г-43-107 (в): 1 – циклоны регенератора; 2 – циклоны реактора; 3 – футеровка реактора; 4 – футеровка регенератора; 5 – прямой участок линии реактора; 6 – прямой участок линии регенератора; 7 – поворотный участок линии регенератора; 8 – J-образный переход; 9 – захватное устройство

онно применяемой для футеровки установок КК смеси корундовых шлифпорошков с цементом «Талюм». Отличие за-

ключается в тщательном подборе зернового состава корундового заполнителя и использования более качественного цемента

та «Secar» производства французской фирмы Lafarge Aluminates;

- бетоны серии АЛАКС, изготавливаемые на основе пористых заполнителей и обладающие поэтому низкой теплопроводностью. В то же время бетоны АЛАКС-1,4-1250 – АЛАКС-1,4-1350 имеют достаточную для определенных условий эксплуатации абразивостойкость. Смеси плотностью менее 1 г/см<sup>3</sup> (АЛАКС-1,0-1000 и АЛАКС-0,8-1000) не являются абразивостойкими и не должны применяться в рабочих слоях футеровки при наличии даже незначительного абразивного воздействия со стороны пылевидного катализатора.

Анализируя свойства бетонов, приведенные в таблице, можно сделать интересные выводы, обуславливающие пересмотр традиционного подхода к созданию абразивостойких бетонов, базирующийся на трех следующих принципах:

- ✓ необходимо использовать абразивостойкий огнеупорный заполнитель с максимальной твердостью, т.е. электроплавленный корунд (шлифпорошки);
- ✓ необходимо использовать наиболее прочный огнеупорный цемент, т.е. «Талюм»;
- ✓ содержание цемента по сравнению с аналогичными бетонами,

Абразивостойкие бетоны, применяемые для футеровки установок каталитического крекинга

Марка	Основной заполнитель	Содержание цемента, %	Наличие ультрадисперсных и модифицирующих добавок	Абразивостойкость по ГОСТ 3647-80, мм*	Плотность после обжига при 800°С, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии после обжига при 800°С, Н/мм <sup>2</sup>	Коэффициент теплопроводности при средней температуре 500°С, Вт/(м·К)
АЛИТ-42АР	Муллитокремнеземистый шамот	7...12	+	0,8...1,2	2,3	70...90	1,3
АЛИТ-72ТМ	Боксит	7...12	+	1,0...1,2	2,8	100...150	2,0
АЛИТ-83	Корунд	7...12	+	1,2...1,5	3,0	120...200	2,8
АЛКОР-37-50	Шамот	22...27	-	4...5	2,0	30...40	0,8
АЛКОР-76	Боксит	18...20	-	2...2,5	2,5	50...70	1,6
АЛКОР-72	Боксит	23...25	-	2,5...3,0	2,5	60...80	1,6
АЛКОР-94	Корунд	18...20	-	3...3,5	2,8	60...80	2,5
АЛКОР-92	Корунд	23...25	-	3,5...4	2,8	70...90	2,5
АЛАКС-1,4-1350	Легковесный шамот	30...35	-	5...7	1,4	8...10	0,5
АЛАКС-1,4-1250	Легковесный шамот	30...35	-	5...7	1,4	8...10	0,5
АЛАКС-0,8-1000	Вермикулит, перлит	40...50	-	-	0,8	3...5	0,2
АЛАКС-1,0-1000	Вермикулит, перлит	40...50	-	-	1,0	5...10	0,3

\*Абразивостойкость определялась пескоструйным методом. Приведенные значения являются глубиной лунки. Абразивостойкость обратно пропорциональна глубине лунки.

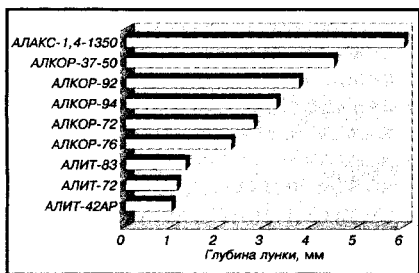


Рис. 3. Абразивостойкость различных бетонов производства ЗАО «Алитер-Акси»

применяемыми в металлургии, должно быть увеличено с 15–17 до 20–30% для увеличения прочности бетона.

Наши лабораторные результаты, анализ зарубежного опыта и опыта применения наших абразивостойких смесей в нефтеперерабатывающей, химической, цементной промышленности, в энергетике привели к следующим выводам.

По-видимому, определяющим является не твердость заполнителя, а плотность и прочность тонкодисперсной матрицы и наличие прочных связей между матрицей и зернами.

В бетонах с большим содержанием цемента абразивный износ происходит путем «вымывания» зерен. Поэтому в бетонах АЛКОР увеличение содержания цемента сверх оптимального уровня, хотя и сопровождается увеличением прочности, но приводит к снижению абразивостойкости (абразивостойкость АЛКОР-76 выше, чем АЛКОР-72, АЛКОР-94 выше, чем АЛКОР-92). Вероятно также, что практически беспористые зерна плавленого корунда недостаточно хорошо удерживаются на поверхности бетона при абразивном воздействии.

Абразивостойкость бокситовых бетонов выше, чем соответствующих корундовых (у АЛКОР-72 выше, чем у АЛКОР-92, у АЛКОР-76 выше, чем у АЛКОР-94, у АЛИТ-72 выше, чем у АЛИТ-83). Наиболее распространенные за рубежом абразивостойкие бетоны, например, Resco 22S, АСТСЕМ, также изготавливаются на основе боксита.

Наконец, обращает на себя внимание то, что наибольшей абразивостойкостью обладают бетоны серии АЛИТ, имеющие очень

плотную структуру. С точки зрения обеспечения теплоизоляционных свойств футеровки особенно интересен бетон АЛИТ-42АР, сочетающий очень высокую абразивостойкость, термостойкость и относительно низкую теплопроводность. Этот бетон успешно опробован нами в самых разнообразных тепловых агрегатах различных отраслей промышленности. Думается, бетоны АЛИТ должны шире применяться и в установках КК, например для футеровки поворотных участков транспортных линий.

Рассмотрим примеры изготовления футеровки различных частей установки КК.

**Циклоны реактора и регенератора.** Мы изготавливаем циклоны по традиционной схеме армирования (панцирная сетка, наваренная на стенку циклона, рис. 4). В местах с радиусами менее 500 мм используем S-образные анкеры. По сетке наносим смеси АЛИТ-83 или АЛКОР-94.

Циклоны реактора менее абразивно нагружены, однако в газовой фазе много коксообразующих веществ, которые осаждаются в порах, где происходит их коксование, сопровождающееся значительным увеличением объема и вызывающее сколы футеровки. Так, в образцах футеровки, снятых с поверхности циклонов реактора установки 1А-1М ОАО «Уфанефтехим», нами обнаружено от 6 до 14 мас. % кокса. С учетом разности в плотностях это составляет до 30 об. %. Абразивного изнашивания практически не наблюдалось.

Основное требование к бетону в этих циклонах – минимальная пористость. Способ нанесения массы на циклоны – традиционный: уплотнение вибраторами или пневмо-

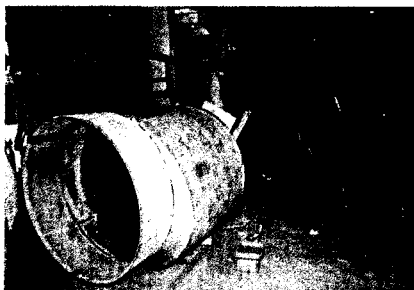


Рис. 4. Циклоны системы пылеулавливания установки 1А-1М в процессе изготовления

трамбовками заподлицо с панцирной сеткой, наваренной на стенку циклона. Нами изготовлены циклоны реактора и регенератора для четырех установок. Первая поставка произведена в 1995 г. в г. Ангарск на установку ГК-3, где они работают до сих пор.

**Футеровка реактора и регенератора.** Футеровка реактора и регенератора выполняет функции как абразивной защиты, так и теплоизоляции. Хотя абразивное изнашивание стенок реактора и регенератора значительно меньше, чем в циклонах, инструкции 70–80 гг. [1, 2] предписывали изготавливать эти элементы из двухслойной футеровки: первый слой – теплоизоляционный из легковесного бетона, второй – по панцирной сетке или V-образным анкерам, наваренным на стойки, из жаростойкого бетона на основе плотных заполнителей.

Мы рекомендуем выполнять футеровку из одного слоя бетона АЛАКС-1,4-1300 плотностью 1,4...1,5 г/см<sup>3</sup>. Его прочность достаточно высока для обеспечения защиты от абразивного изнашивания, а теплопроводность достаточно низка для обеспечения защиты корпуса от высоких температур и снижения потерь теплоты. Такая футеровка намного дешевле двухслойной и технологичнее в нанесении, более долговечна и ремонтнопригодна. Необходимо учитывать, что в футеровке реактора нежелательно присутствие веществ, склонных к реакции восстановления (например, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Коксообразование на стенках реактора также негативно сказывается на футеровке (повышается теплопроводность, возможны сколы). Эти процессы – достаточно медленные, не приводящие к разрушениям футеровки, но оказывающие в целом негативное воздействие, снижая прочность и увеличивая теплопроводность, – активно изучаются как за рубежом [3], так и нами.

**Футеровка транспортных линий.** Транспортные линии – это наиболее сложные участки с точки зрения футеровки. Инструкции 70–80 гг. предписывали выполнять все транспортные линии двухслойными толщиной 150 мм (теплоизоляционный легковесный слой толщиной 120...125 мм и панцирный абразивостойкий на

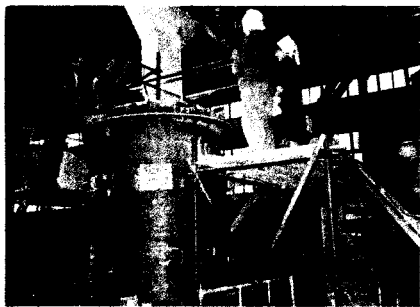


Рис. 5. Прямой участок транспортной линии в процессе заливки

основе корунда и высокоглиноземистого цемента толщиной 25...30 мм). Эта конструкция обеспечивала теплосбережение (температура наружной стенки 100...150°C), но не всегда обладала достаточной абразивной стойкостью. Панцирный слой, выполненный по этой технологии, имеет предел прочности при сжатии около 50 Н/мм<sup>2</sup>, любые локальные повреждения в панцирном слое (выпадение футеровки, деформация сетки и т.п.) иногда приводили к полному размыванию этого участка в течение нескольких недель.

Мы считаем, что предпочтение следует отдать однослойной футеровке, пожертвовав небольшими теплотерями, которые при этом возникают, тем более, что сейчас появились абразивостойкие бетоны, которые превосходят по абразивостойкости корундовые бетоны, но обладают в 2 раза более низкой теплопроводностью (Resco 17EC, АЛИТ-42АР и др.). Зарубежный опыт также говорит о целесообразности этого [4].

С точки зрения технологичности укладки бетона (и, следовательно, его качества) однослойная футеровка имеет неоспоримые преимущества. Если двухслойная футеровка с армирующей панцирной сеткой наносилась вручную путем последовательного выполнения ряда трудоемких операций, то укладка абразивостойкого бетона в один слой на специализированных предприятиях производится на специальных стендах с использованием разборной металлической опалубки и навесных вибраторов (рис. 5), которые располагаются по определенной схеме, зависящей от геометрии футеруемого изделия. Порядок их включения и выключения, а также частота и амплитуда вибрации регулируются в

процессе укладки бетона по определенному алгоритму. Такая технология не только высокопроизводительна, но и позволяет получить бетон с более высокими плотностью и прочностью, чем при укладке вручную (рис. 6).

**Вертикальные участки и стояки.** Футеровку прямых вертикальных участков транспортных линий мы рекомендуем изготавливать в один слой из смеси АЛКОР-76 (плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>). При футеровке стояков, по которым катализатор движется вниз самотеком, можно ограничиться смесью АЛКОР-37-50 (плотность 2,0 г/см<sup>3</sup>). Температура наружной стенки стояков выше, чем при использовании двухслойной футеровки, но опыт показал, что они надежно работают более 8 лет.

**Поворотные участки.** Поворотные участки наиболее трудны в изготовлении. В том случае, если стенки транспортной линии поворачивают поток катализатора (например, в установке 1А-1М на линии регенератора и в захватном устройстве, см. рис. 2, поз. 7, 9), то необходимо использовать наиболее абразивостойкую массу АЛИТ-42АР или АЛИТ-72ТМ. В j-образном переходе установки Г-43-107 (см. рис. 2, поз. 8) катализатор поворачивается как стенками транспортной линии, так и потоком сырья и пара, вводимым в стенки линии. Для этого элемента можно использовать массы АЛИТ-42АР, АЛИТ-72ТМ, АЛКОР-72, АЛКОР-76. При изготовлении этих элементов встречаются также трудности в заливке из-за их сложной геометрической формы.

Сегодня при изготовлении поворотных участков, несмотря на пятнадцатилетний опыт работы, мы не можем гарантировать пятилетний срок службы. Иногда это удается (например, с захватным устройством), иногда ресурс состав-

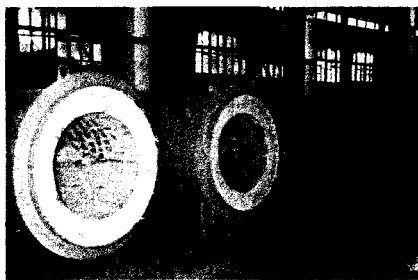


Рис. 6. Транспортные линии установки 1А-1М



Рис. 7. Захватное устройство установки 1А-1М

ляет 1-3 года, после чего необходим ремонт участка.

Решение этой проблемы, видимо, лежит в двух плоскостях. Во-первых, в повышении абразивостойкости наших масс и, во-вторых, в изменении геометрии элементов конструкций для уменьшения аэродинамических нагрузок.

В данной статье мы обсудили основные проблемы абразивостойких элементов футеровок установок КК. В современных проектах реконструкции есть также небольшие переходные участки, участки с двухсторонним изнашиванием. Проблемы их изготовления необходимо обсуждать с авторами проектов реконструкций.

Сегодня нами решены не все проблемы изготовления и эффективной эксплуатации абразивостойких элементов установок КК. Однако по всем позициям, кроме поворотных участков, мы находимся на уровне американских стандартов (срок службы 5 лет и более).

Целесообразно провести сравнительный анализ работы установок КК после их реконструкции американскими фирмами и нашими организациями. В случае, если мы будем допущены к установкам в Рязани и Ярославле, такой анализ может быть проведен в короткие сроки и пойти на пользу нашей промышленности.

#### Список литературы

1. Инструкция ВНИИНЕФТЕМАШ по изготовлению футеровки в реакторе и регенераторе установки каталитического крекинга Г-43-107. М.: 1995.
2. Проспект фирмы «Resco products», 4-87-5М.
3. Tassot P.; Bachmann E.; Johnson R.C.: The Influence of Reducing Atmospheres on Monolithic Refractory Linings for Petrochemical Service//UNITE-CR'01. Cancun, Mexico: Proc. Vol. II.
4. Leg Antalfy. Convert hot wall FCCU lines to cold wall design//Hydrocarbon Processing. V.1. 1986.