

Вечная молодость аппаратов. Замена футеровок реакторов карбамида

А.В. Чирков, А.К. Тузов (ОАО «НИИК»)

В настоящее время основные производства карбамида проектной мощностью 1000...1500 т/сут (АК-80), работающие на территории России и ближнего зарубежья, находятся в эксплуатации 25...30 лет, а агрегаты с полным жидкостным рециклом проектной мощностью 250...500 т/сут (АК-70) – по 40...45 лет. Основным и очень дорогостоящим аппаратом в производстве карбамида является колонна синтеза, поэтому ее техническое и коррозионное состояние определяет эффективность и бесперебойность работы всего агрегата.

При проведении коррозионных обследований колонн синтеза обнаруживаются коррозионное утонение футеровки и износ сварных швов, близкие к критическим, из-за чего значительно повышается вероятность аварийных остановок и опасность поражения несущих корпусов колонн в случае сквозного пропуска через футеровку.

Технология восстановления работоспособности колонн синтеза карбамида диаметром 1300 мм агрегатов АК-70 путем полной замены футеровки давно отработана ОАО «НИИК» и успешно применяется до настоящего времени. Небольшая толщина футеровки этих колонн (5...6 мм) и достаточно большой диаметр горловины (800 мм) позволяют проводить транспортировку обечаек новой футеровки внутрь колонны в виде рулонов. Рулон разворачивают внутри колонны, и футеровка плотно прижимается к корпусу специальными приспособлениями, после чего производят сварочные работы.

В связи с тем, что сроки эксплуатации колонн синтеза производств карбамида большой мощности АК-80 (поставки фирм Stamicarbon, Tecnimont, Snamprogetti, ТЕС) значительны, становится актуальным вопрос о частичной замене наиболее изношенных участков футеровки колонн синтеза карбамида этих агрегатов.

Как правило, наибольшему коррозионному изнашиванию подвержена футеровка верхней части реактора – верхнее днище и верхние пояса футеровки цилиндрической части колонны. Большая толщина футеровки (8...11 мм) при небольшом по отношению к диаметру корпуса (1660...2500 мм) диаметре горловины (500...1000 мм) не позволяет проводить замену футеровки аналогично замене в колоннах агрегатов АК-70. В связи с этим возникает необходимость выполнять большое число новых сварных швов футеровки, а также проблема последующего контроля их герметичности в процессе эксплуатации.

ОАО «НИИК» активно работает над данной проблемой и сегодня имеет успешный опыт проведения ремонтов колонн синтеза карбамида большой мощности. По разработанному ОАО «НИИК» технологиям при техническом сопровождении ремонтных работ специалистами НИИК была проведена замена футеровки колонн синтеза в местах, наиболее подверженных коррозионному изнашиванию: в 2008 г. – частичная замена футеровки реактора в

Кемеровском ОАО «Азот» и ОАО «НАК «Азот» (г. Новоомосовск), в 2010 г. – в ОАО «Азот» (г. Черкассы).

Ремонт верхней части футеровки колонны синтеза в Кемеровском ОАО «Азот»

Реактор синтеза карбамида изготовлен фирмой Rheinstahl в 1977 г. С 1982 г. реактор эксплуатируется в цехе производства карбамида поставки фирмы Tecnimont проектной мощностью 1500 т/сут. Это – многослойный сосуд высокого давления с коваными днищами, футерованный изнутри сталью WNr 1.4435. Внутренний диаметр аппарата – 1660 мм, диаметр горловины – 650 мм.

В 2006 г. при замерах толщины стенок футеровки реактора была определена зона критического утонения (толщина менее 4 мм при проектной 11 мм), расположенная по зоне термического влияния кольцевого сварного шва на футеровке днища. Футеровка верхнего днища, находящаяся в газовой фазе, подверглась значительной язвенной коррозии глубиной до 6 мм. Металлографические исследования образцов металла футеровки днища показали наличие сильно развитой межкристаллитной коррозии с выкрашиванием зерен максимальной глубиной до 0,84 мм (рис. 1).

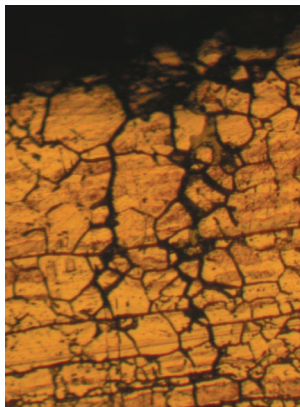


Рис. 1. МКК футеровки днища

Было решено во время следующего капитального ремонта заменить футеровку верхнего днища и участок цилиндрической футеровки, примыкающий к верхнему днищу, новой, изготовленной из стали 02Х25Н22АМ2. Специалисты ОАО «НИИК» разработали технологию ремонта, поставили необходимые заготовки, сварочные материалы, ремонтную оснастку и в августе 2008 г. осуществили техническое сопровождение ремонта.

Для производства полусферических днищ реакторов агрегатов АК-70 диаметром 1300 мм обычно используется штамповка с последующей механической обработкой, позволяющей обеспечить точное прилегание заготовок футеровки днища к корпусу. В данном случае сложная торосферическая форма днища обусловила необходимость применения для изготовления днища метода обкатки роликами без последующей механической обработки, а также использования при монтаже специально разработанной оснастки, позволяющей плотно прижать заготовки футеровки с учетом невозможности изготовить заготовку необходимого размера с достаточной точностью (рис. 2).

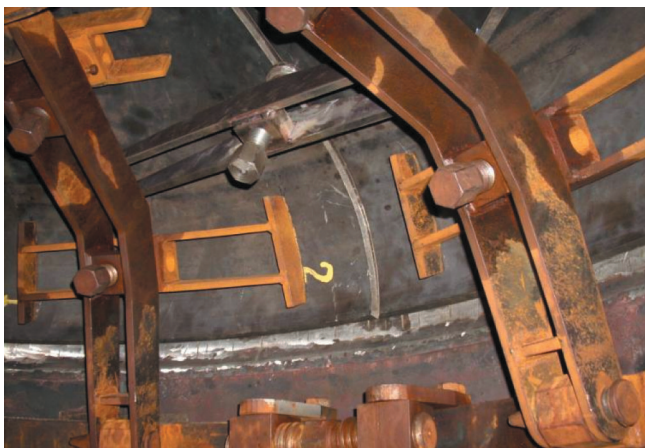


Рис. 2. Оснастка для прижатия футеровки верхнего дна

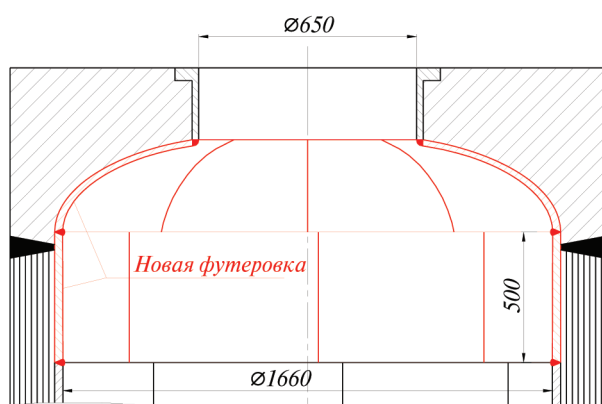


Рис. 3. Колонна синтеза карбамида Rheinstahl



Рис. 4. Монтаж новой футеровки

В колонне была смонтирована новая футеровка верхнего дна, изготовленная из стали 25-22-2 толщиной 8 мм, состоящая из восьми лепестков, а также был заменен пояс футеровки цилиндрической части на высоту 500 мм (рис. 3). Цилиндрическая часть футеровки была изготовлена из трех элементов, исходя из условия проходимости через горловину (рис. 4).

Все сварочные работы вели ручной аргонодуговой

сваркой. Контроль качества выполнения сварных швов осуществляли визуально послойно и методом цветной дефектоскопии после окончательной заварки.

По окончании всех работ было проведено гидравлическое испытание реактора внутренним давлением 23,0 МПа при температуре 70°C. Течи и падения давления при проведении испытаний не зафиксировано. После гидроиспытаний реактор был вскрыт и специалистами ОАО «НИИК» произведен внутренний осмотр основного металла и сварных швов новой футеровки. Недопустимых дефектов обнаружено не было.

Таким образом, под техническим руководством ОАО «НИИК» была успешно выполнена замена футеровки верхней части реактора, при этом был впервые применен метод изготовления футеровки днищ сложной формы – обкатка роликами. С помощью специального прижимного устройства конструкции НИИК удалось добиться плотного прилегания футеровки днища к корпусу колонны. Затраты времени непосредственно на замену футеровки составили 11 суток (работа велась в круглосуточном режиме). По окончании ремонта реактор был успешно пущен в эксплуатацию в сентябре 2008 г.

Ремонт верхней части футеровки колонны синтеза в ОАО «НАК «Азот»

Реактор синтеза карбамида изготовлен фирмой АТВ в 1977 г., с 1979 г. находится в эксплуатации в цехе производства карбамида поставки фирмы Snamprogetti проектной мощностью 1500 т/сут.

Корпус колонны вальцовано-сварной, днища штампованные, толщина цилиндрической части корпуса 95 мм. Аппарат футерован изнутри сталью AISI 316L UG. Внутренний диаметр аппарата 2305 мм, диаметр горловины 500 мм. Под футеровкой имеется подложка из углеродистой стали толщиной 5 мм. Сварные швы футеровки выполнены на подкладных полосах с канавками системы контроля герметичности.

Обследование реактора перед его монтажом выявило многочисленные несоответствия с проектом, допущенные заводом-изготовителем, в результате чего в период эксплуатации имели место неоднократные случаи разрывов футеровки по сварному шву приварки футеровки верхнего дна реактора к верхней цилиндрической обечайке футеровки из-за неплотного прилегания футеровки к корпусу и некачественного выполнения сварных швов (рис. 5).

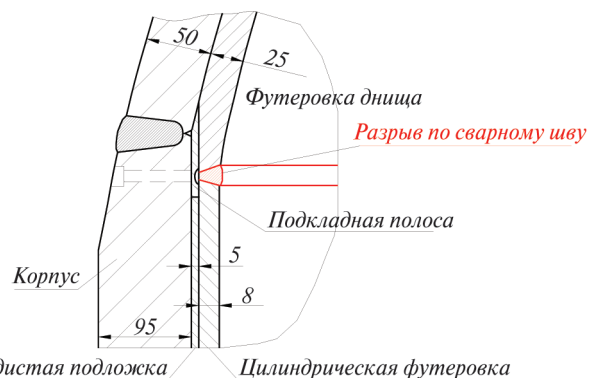


Рис. 5. Колонна фирмы АТВ, переход «сфера-цилиндр»



Рис. 6. Коррозия футеровки под накладками

В 1997–2000 гг. предпринимались попытки восстановить данный сварной шов и верхний пояс футеровки цилиндрической части колонны, также подвергшийся значительному коррозионному изнашиванию. Сварной шов был неоднократно переварен и перекрыт

накладками из стали 02Х25Н22АМ2 толщиной 4 мм на общую высоту 1200 мм от футеровки верхнего днища. При дальнейшей эксплуатации колонны по причине некачественно проведенного ремонта под накладкой вновь произошел отрыв футеровки цилиндрической части от сферы на протяжении полупериметра, в связи с чем в июле 2005 г. были проведены работы по ремонту узла перехода сфера–цилиндр реактора. Ремонт узла был проведен по технологии, разработанной ОАО «НИИК», под техническим руководством специалистами ОАО «НИИК». Ремонт заключался во вскрытии накладки на высоте 430 мм, замене участка цилиндрической футеровки высотой 200 мм новой и в восстановлении накладки. После проведения ремонта отрывы футеровки цилиндрической части от сферы прекратились.

В октябре 2007 г. агрегат был остановлен из-за пропуска через отверстие системы контроля герметичности футеровки верхней части реактора. При внутреннем визуальном осмотре были выявлены места сквозных поражений по нижнему сварному шву приварки накладки к футеровке. На четырех из двенадцати листов накладки имелись гофры высотой до 80 мм, вызванные разложением плава, попавшего в поднакладочное пространство, с выделением газовой фазы. Три наиболее деформированных листа накладок были заменены новыми.

В марте 2008 г. специалистами ОАО «НИИК» было проведено обследование верхней части реактора и техническое сопровождение текущего ремонта. При обследовании были обнаружены обширные коррозионные поражения старой футеровки под накладкой и значительное количество отложений продуктов разложения плава и коррозии металла. При зондаже подфутеровочного пространства были обнаружены пустоты, что свидетельствовало о наличии коррозионного поражения несущего корпуса реактора (рис. 6).

По результатам обследования было принято решение отказаться от дальнейшего ремонта футеровки реактора путем наложения накладок и заменить футеровку верхней части реактора новой, изготовленной из стали типа 25.22.2.

ОАО «НИИК» была разработана технология ремонта реактора, которая предусматривала демонтаж накладок из стали 02Х25Н22АМ2, замену двух верхних поясов футеровки цилиндрической части реактора (~3,5 м) из стали AISI 316L новыми из стали 02Х25Н22АМ2 толщиной 8 мм, замену материала уплотнительного кольца и футеровки горловины сталью 02Х25Н22АМ2, ремонт несущего корпуса реактора. ОАО «НИИК» осуществило поставку всех необходимых для ремонта заготовок футеровки, сварочных материалов и технологическую оснастку. Все работы вели

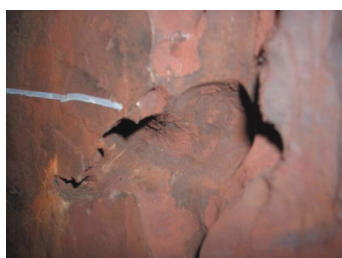


Рис. 7. Коррозия несущего корпуса реактора

под постоянным техническим руководством специалистов ОАО «НИИК».

Под футеровкой верхнего пояса был обнаружен коррозионный дефект несущего корпуса колонны в виде ручья глубиной до 24 мм, шириной ~50 мм и протяженностью ~1,5 м (рис. 7).

Корпус колонны был восстановлен наплавкой ручной электродуговой сваркой электродами с высоким содержанием никеля, позволяющими производить заварку без предварительного и сопутствующего подогрева. Сварку вели непрерывно два сварщика, сменявшие друг друга. После заполнения разделки наплавка была зачищена по шаблону заподлицо с внутренней поверхностью



Рис. 8. Монтаж подложки и подкладных полос

корпуса колонны. После восстановления корпуса была восстановлена углеродистая подложка, при этом участки подложки под каждым сварным швом новой футеровки были выполнены из полос из стали 316L (рис. 8). Между полосами из стали 316L и углеродистой подложкой оставлен зазор, формирующий по обе стороны сварного шва футеровки каналы для прохождения паров аммиака в существующую систему контроля герметичности реактора при возникновении утечки по сварному шву новой футеровки. Все сварные соединения футеровки выполняли ручной аргонодуговой сваркой. Всего было смонтировано восемь поясов новой футеровки высотой по 400...450 мм (рис. 9).

После окончания работ было проведено гидравлическое испытание реактора внутренним давлением 20,0 МПа при температуре 130°C. Течи и падения давления при проведении испытаний не зафиксировано. После гидроиспытаний реактор был вскрыт и специалистами ОАО «НИИК» произведен внутренний осмотр основного металла и сварных швов новой футеровки. Недопустимых дефектов обнаружено не было.

Таким образом, впервые была выполнена замена футеровки реактора синтеза карбамида по месту его установки с соотношением диаметра корпуса к диаметру горловины, равным 4,6. При этом было найдено эффективное техническое решение обеспечения контроля герметичности новых сварных швов футеровки. Общая продолжительность ремонта составила 48 суток при работе в круглосуточном режиме, из них на замену двух поясов цилиндрической футеровки – 26 суток.

По окончании ремонта реактор был успешно пущен в эксплуатацию.

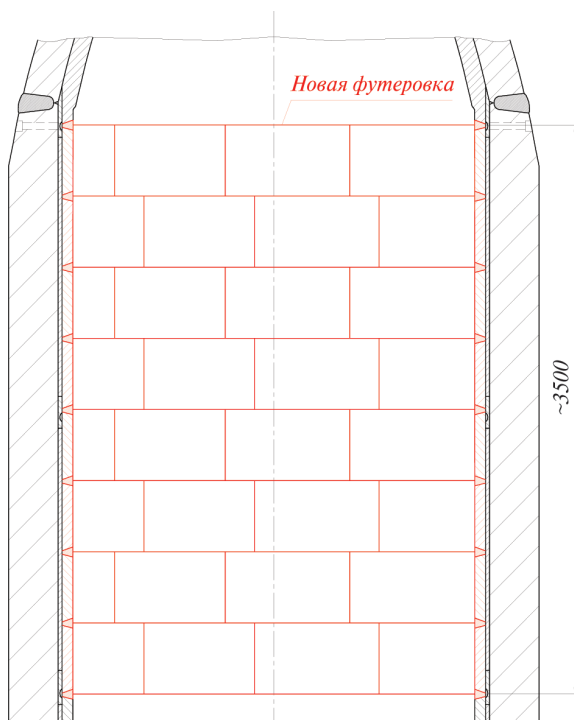


Рис. 9. Колонна синтеза карбамида фирмы АТВ

Ремонт верхней части футеровки колонны синтеза в ОАО «Азот» (г. Черкассы)

Реактор синтеза карбамида изготовлен в 1978 г. в г. Градец-Кралове, ЧССР. С 1979 г. находится в эксплуатации в цехе М-2 производства карбамида поставки фирмы Stamicarbon проектной мощностью 1000 т/сут.

Корпус реактора ковано-сварной, толщина цилиндрической части корпуса 105 мм. Аппарат футерован изнутри сталью W.Nr 1.4435 (03X17H14M3) проектной толщиной – 8 мм. Внутренний диаметр аппарата 2500 мм, диаметр горловины 980 мм.

По результатам коррозионного обследования колонны синтеза, принимая во внимание утонение основного металла футеровки до 4,1 мм, а также наличие дефектов по линии сплавления сварного шва футеровки глубиной до 2 мм, было принято решение заменить верхний пояс футеровки колонны синтеза в процессе ремонта 2010 г.

ОАО «НИИК» была разработана специальная технология ремонта реактора, которая предусматривала демонтаж футеровки цилиндрической части реактора на высоту одного верхнего пояса (высота 2400 мм) и монтаж новой футеровки цилиндрической части реактора из стали 02Х25Н22АМ2 толщиной 8 мм взамен демонтированной.

Согласно технологии ОАО «НИИК» из условий проходимости через горловину реактора пояс футеровки высотой 2400 мм должен заменяться тремя поясами толщиной 8 мм и высотой по 800 мм. При этом на монтажных стыках с обратной стороны элементов футеровки формируется паз под обратную закладную пластину толщиной 2 мм. Паз делается шире полосы для формирования каналов системы контроля герметичности по обе стороны от сварного шва (рис. 10).

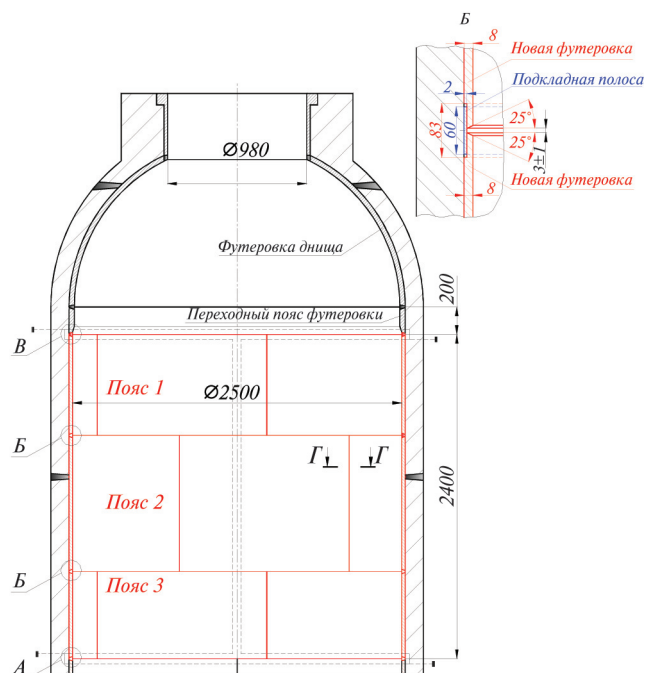


Рис. 10. Колонна синтеза карбамида, замена верхнего пояса футеровки

Новая система контроля герметичности работает через существующие контрольные отверстия корпуса.

Ремонт футеровки реактора по данной технологии был проведен в июле 2010 г. После демонтажа старой футеровки было проведено обследование несущего корпуса реактора. Дефектов корпуса не обнаружено, система контроля герметичности футеровки была чистой. Все сварные соединения футеровки выполняли ручной аргонодуговой сваркой. При монтаже для прижатия элементов футеровки к корпусу реактора применяли специальные ручные гидравлические домкраты (рис. 11). Контроль качества выполнения сварных швов осуществляли визуально послойно и методами цветной и ультразвуковой дефектоскопии после окончательной



Рис. 11. Монтаж новой футеровки



Рис. 12. Новая футеровка

заварки. Для сварки футеровки были допущены четыре сварщика, успешно прошедшие испытания при заварке контрольных стыков.

По окончании всех работ было проведено гидравлическое испытание реактора внутренним давлением 18,0 МПа. Течи и падения давления при проведении испытаний не зафиксировано. После гидроиспытаний реактор был вскрыт и специалистами ОАО «НИИК» произведен внутренний осмотр основного металла и свар-

ных швов новой футеровки. Недопустимых дефектов обнаружено не было (рис. 12).

Общая продолжительность ремонта составила 10 суток при 12-часовом рабочем дне.

По окончании ремонта реактор был успешно пущен в эксплуатацию в августе 2010 г.

На основе опыта работ по замене футеровки можно прийти к определенному выводу: трудоемкость и сроки проведения работ по замене футеровки напрямую зависят от соотношения диаметра корпуса колонны к диаметру горловины.

Соотношение внутреннего диаметра корпуса к диаметру горловины для различных реакторов

Тип реактора	Диаметр корпуса D , мм	Диаметр горловины d , мм	Соотношение D/d
AK-70	1300	800	1,6
AK-80 Stamicarbon	2500	1000	2,5
AK-80 Tecnimont	1660	650	2,55
AK-80 Snamprogetti	2305	500	4,6
AK-80 TEC	2100	500	4,2

У реакторов поставки фирмы Snamprogetti по сравнению с реакторами поставки других фирм это соотношение наибольшее.

В настоящее время технологии частичной замены футеровки реакторов агрегатов АК-80 различных конструкций отработаны, и замена футеровок различных геометрических форм не представляет для ОАО «НИИК» неразрешимой проблемы.