

Ремонт несущих корпусов аппаратов высокого давления

А.Ю. Паньшин (ОАО «НИИК»)

В узле синтеза производства карбамида эксплуатируется достаточно большое число аппаратов высокого давления (реакторы, стрипперы, конденсаторы карбамата, скрубберы). Температура среды при этом достигает 200°C, давление – 20,0 МПа. Несущий корпус (structural shell) аппаратов из углеродистой стали защищается от высококоррозионной среды путем футерования или плакирования сталями 316LUG (1.4435) или 25-22-2 (1.4466).

Стали перлитного класса, используемые при изготовлении корпусов, совершенно нестойки в коррозионной среде синтеза карбамида. В случае несвоевременного обнаружения сквозного дефекта антикоррозионного покрытия возникают серьезные поражения несущего корпуса (глубины до 50% толщины стенки корпуса).

Ремонт подобных поражений с использованием традиционных технологий заварки места поражения сварочными материалами для сталей перлитного класса вызывает необходимость применения предварительной, сопутствующей и послесварочной термообработки, что в ремонтных условиях производств карбамида сложно, а иногда и невыполнимо. В связи с этим в ОАО «НИИК» разработана и применяется технология ремонта коррозионно-эрозийных поражений корпусов оборудования производств карбамида из сталей перлитного класса с помощью наплавки сварочными материалами высокоаустенитного класса без применения предварительного, сопутствующего подогрева и послесварочной термообработки.

В данной статье изложены результаты научно-исследовательской работы по созданию этой технологии, а также примеры применения в производственных условиях.

В 1981 г. перед специалистами ОАО «НИИК» (в то время специализированная государственная организация отрасли производства карбамида на территории СССР) встала задача ремонта коррозионного по-

ражения корпуса реактора глубиной ~50% толщины стенки и площадью ~1000 см². Корпус реактора был изготовлен из стали 30Mn5 перлитного класса (химический состав, %: 0,3C; 1,45Mn; 0,3Si; 0,02S; 0,03P).

Применение стандартной технологии восстановления корпуса электродами одного класса с материалом корпуса требовало предварительного и сопутствующего подогрева, а также послесварочной термообработки. Выполнение всех этих видов термообработки сильно осложнялось близостью дефекта к бетонной опоре реактора, поэтому была применена экспериментальная технология ремонта стенки корпуса реактора из стали перлитного класса путем наплавки сварочными материалами высокоаустенитного класса. Ранее подобную технологию с переменным успехом использовали в отрасли энергетики.

После проведенного ремонта реактор карбамида находился под постоянным наблюдением специалистов ОАО «НИИК». В процессе многолетней эксплуатации (около 30 лет) не было выявлено каких-либо следов деградации корпуса. В 2009 г. при очередной плановой замене футеровки реактора было проведено техническое диагностирование корпуса, каких-либо следов разрушений в местах ремонта не было отмечено (рис. 1).



Рис. 1. Отремонтированный дефект корпуса реактора карбамида после 30 лет эксплуатации

На основании данного положительного опыта было принято решение о стандартизации и легализации на государственном уровне технологии ремонта коррозионных поражений корпусов оборудования производств карбамида из сталей перлитного класса с помощью наплавки сварочными материалами высокоаустенитного класса без применения предварительного, сопутствующего подогрева и послесварочной термообработки.

Технология ремонта предусматривала следующую последовательность операций:

- дефект заваривается в два этапа;
- на поверхность выборки дефекта наносится облицовочный слой высоконикелевыми электродами (содержание никеля в наплавленном металле до 60%), что подавляет процесс развития диффузионной прослойки в зоне сплавления при ползучести; облицовка наносится по определенной схеме, создающей эффект самоотпуска околосшовной зоны основного металла в процессе сварки, что обеспечивает повышение ее пластичности и трещиностойкости; одновременно наличие облицовки на поверхности выборки способствует снижению примерно на 50% уровня остаточных сварочных напряжений в ремонтных заварках;
- раскрытие дефекта заваривается путем выполнения многослойной восстановительной наплавки электродами с умеренным содержанием никеля (около 40% в наплавленном металле), что позволяет выполнить швы высокого качества во всех пространственных положениях благодаря удовлетворительным сварочно-технологическим свойствам этих электродов по сравнению с высоконикелевыми.

Для отработки технологии и проведения необходимых исследований и испытаний была изготовлена опытная партия поковок из стали марки 30Г2 (аналог 30Mn5). Химический состав стали, %: 0,31C; 1,58Mn; 0,34Si; 0,033S; 0,028P). Из этих по-



Рис. 2. Наплавка контрольного образца

ковок были изготовлены контрольные образцы с выборками, имитирующими дефект корпуса.

После наплавки контрольных образцов (рис. 2) был проведен комплекс испытаний и исследований зоны термического влияния со стороны основного металла и со стороны наплавки, а также самого наплавленного металла, который включал:

- неразрушающий контроль (рис. 3);
- визуально-измерительный;
- капиллярный (цветная дефектоскопия);
- ультразвуковой;
- радиографический;
- разрушающий контроль (рис. 4):
- испытание на статическое растяжение металла наплавки и зон термического влияния;
- испытание на статический изгиб;
- испытание на ударный изгиб металла наплавки и зон термического влияния;
- металлография и измерение твердости основного металла, металла наплавки и зон термического влияния;
- испытания на малоцикловую усталостную прочность



Рис. 3. Проведение неразрушающего контроля

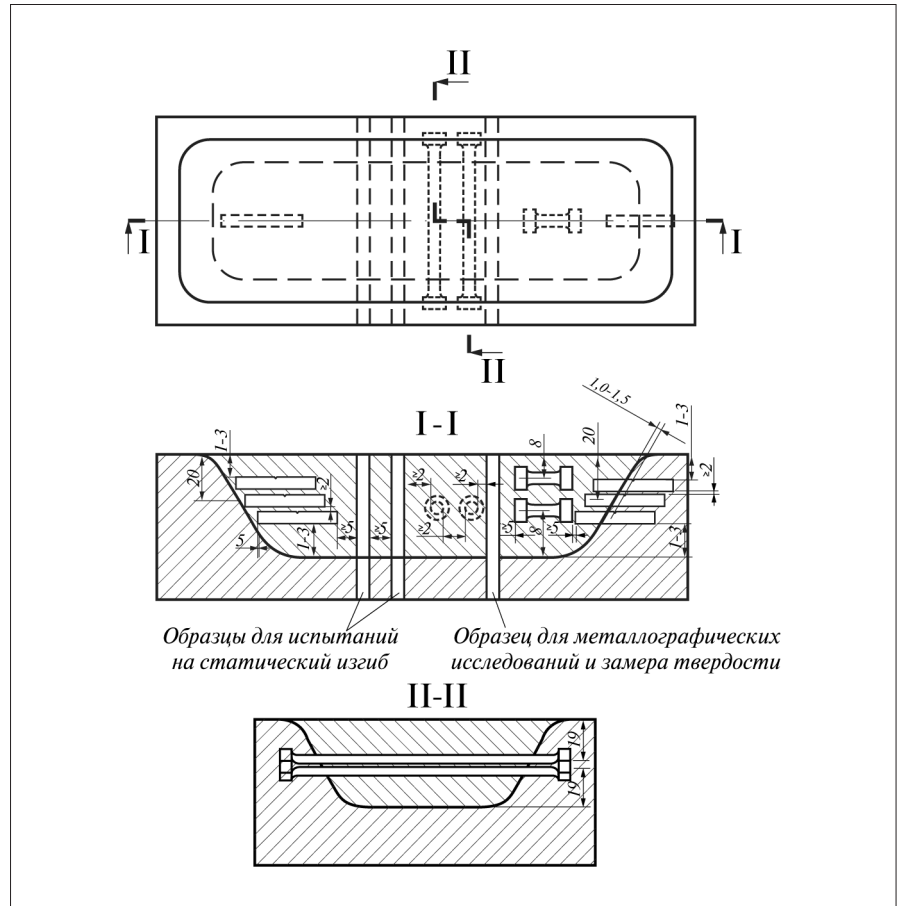


Рис. 4. Схема вырезки некоторых образцов для механических испытаний

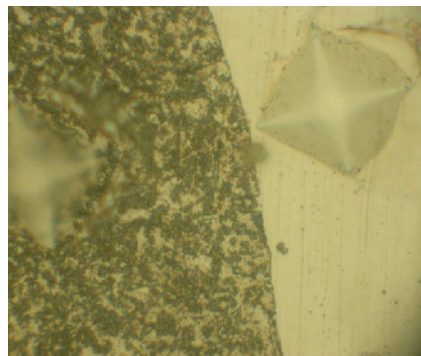
Основные результаты исследований и испытаний

По результатам неразрушающих испытаний недопустимых дефектов в наплавленном контрольном образце обнаружено не было.

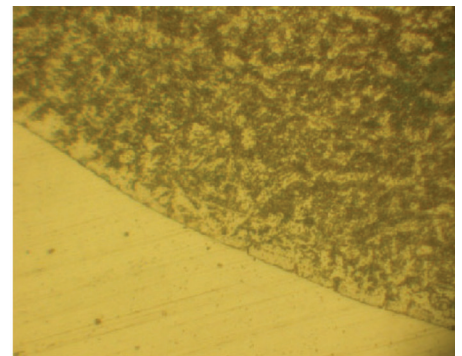
Механические испытания металла наплавки и зон термического влияния не выявили снижения механических свойств по сравнению с исходными.

Металлография и измерение твердости основного металла, металла наплавки и зон термического влияния не выявили критического скачка твердости, а также наличия твердых хрупких прослоек в зоне перемешивания (рис. 5).

Испытания на усталостную прочность проводились при температуре, соответствующей рабочей температуре технологической среды



а



б

Рис. 5. Линия сплавления (а) и зона термического влияния (б). $\times 500$



Рис. 6. Характерные отремонтированные дефекты:
 а – коррозионно-эрозионные поражения корпуса до заварки; б – после заварки, до зачистки дефекта;
 в – после зачистки заваренного дефекта

($200 \pm 5^\circ\text{C}$). Образцы подвергались непрерывному нагружению растяжением частотой 14 Гц при коэффициенте асимметрии цикла 0,2; образцы испытывались до разрушения. Были получены следующие результаты: при напряжении ~180 МПа (что соответствует напряжениям в стенке корпуса оборудования, возникающими при эксплуатации) образцы выдерживали более 2000×1000 циклов. При увеличении напряжений до 500 МПа образцы выдерживали около 40×1000 циклов, место разрушения образцов – по основному металлу. Цик-

личность в реальных условиях при эксплуатации не превышает 1×10^3 циклов, таким образом, наблюдается существенный запас по усталостной прочности.

Полученные результаты позволили с уверенностью утверждать, что разработанная ОАО «НИИК» технология применима при ремонте коррозионных поражений корпусов оборудования производств карбамида из сталей перлитного класса. Из-за отсутствия дополнительных технологических операций по предварительному подогреву и последующей термообработке сроки вы-

полнения и конечная стоимость ремонтных работ может быть существенно снижена.

Данная технология в последнее время была с успехом применена при ремонте пяти реакторов с глубиной поражения 20...50 мм. Фотографии характерных отремонтированных дефектов представлены на рис. 6.

Отремонтированное оборудование работает до настоящего времени при заданных условиях эксплуатации без отклонений.