Техническое диагностирование технологического оборудования (сосудов и аппаратов) химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств, изготовленных из двухслойных (биметалических) сталей в процессе проведения экспертизы промышленной безопаснос

Орешкин Александр Юрьевич/ Oreshkin Aleksandr Yurevich – технический директор ООО «Промтехмониторинг», г.Волгоград;
Шлячков Денис Алексеевич/ Shlyachkov Denis Alekseevich– начальник лаборатории НКиТД, г.Волгоград
Юшков Александр Борисович/ Yushkov Aleksandr Borisovich – ведущий специалист, г.Волгоград.

Аннотация: в статье рассмотрены результаты технического диагностирования и исследования технологического оборудования химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств из двухслойных (биметаллических) сталей.

Abstract: in the article the results of technical diagnostics and research of technological equipment for chemical, petrochemical and oil refineries from two-layer steels.

Ключевые слова: техническое диагностирование, двухслойные (биметаллические) стали, сосуд, емкость, нефтехимия, нефтепереработка, промышленная безопасность.

Keywords: technical diagnostics, double-layer (bimetal) steel, vessel, container, petrochemical, refining, industrial safety.

Двухслойные стали находят широкое применение в нефтехимическом машиностроении. Они состоят из низкоуглеродистой или низколегированной стали (основной слой), покрытой более тонким слоем из высоколегированной стали (защитный слой), предохраняющий металл основного слоя от коррозирующего действия агрессивной среды находящейся в аппарате или емкости.

Двухслойные стали позволяют резко уменьшить потребление дефицитных высоколегированных сталей без снижения работоспособности конструкций. Эти стали обычно используют для изготовления аппаратуры, работающей в коррозионной среде. Для облицовочного коррозионно-стойкого слоя, находящегося в контакте с агрессивной средой, толщина которого может достигать 12 мм, применяют высоколегированные хромоникелевые аустенитные (12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 08Х18Н12Б и др.) и хромистые ферритные и мартенситно-ферритные (08Х13, 12Х13 и др.) стали

Наиболее часто применяют двухслойные стали толщиной 8-40мм с основным слоем из стали СтЗсп2, Ст10, 15К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 12МХ, 12ХМ и защитным (плакирующим) слоем из коррозионно-стойких сталей марок 20Х13, 08Х18Н10Т, Х17Н13М2Т.

Двухслойные стали получают путем совместной горячей прокатки двух листов из стали основного и плакирующего слоя, которые при этом прочно свариваются между собой.

Сварка двухслойных сталей производится следующими способами:

1. автоматической сваркой под слоем флюса основного и плакирующего слоя,
2. ручной дуговой сваркой основного и плакирующего слоя,
3. автоматической сваркой под слоем флюса основного слоя и ручной дуговой сваркой плакирующего слоя,

4. полуавтоматической сваркой в среде защитным газов основного слоя и аргонодуговой сваркой плакирующего слоя.

Основной особенностью технологии сварки двухслойных сталей является раздельная сварка каждого слоя строго предназначенными для этого слоя сварочными материалами (электродами при ручной сварке, сочетанием проволоки и флюса при автоматической сварке под флюсом или сочетанием присадочной проволоки и защитного газа – при сварке в среде защитного газа). Причём в первую очередь сварщик сваривает основной слой, а легирующий слой сваривается только после сварки основного слоя. Изменение этой последовательности приводит к образованию трещин.

И это не является единственной причиной образования трещин, т.к.в конечном итоге к трещинам приводят также нарушение режимов сварки основного или легированного слоя шва, а также оплавление легированного слоя двухслойного проката при сварке основного слоя шва. Указанные особенности технологии сварки приводят к снижению эксплуатационной надежности сварных соединений и к повышению риска при их эксплуатации.

С точки зрения диагностики представляет особый интерес: в каких именно участках сварного соединения двухслойной стали наиболее вероятно повышение твёрдости и где в связи с этим наиболее вероятно появление микротрещин. Из этих данных становится понятно, где назначать замер твёрдости и контролировать поверхность сварного соединения капиллярными видами контроля.

Эксперты со знаниями сварочных технологий, применявшихся при изготовлении и монтаже корпусного оборудования, уже на стадии ознакомления с технической документацией и на стадии визуально-измерительного контроля сварного емкостного оборудования могут сориентироваться и уточнить как методы дополнительного контроля основного металла и сварных соединений, так и их объём.

В качестве примера рассмотрим причину образования сквозной трещины на корпусе колонны, выполненной из двухслойной стали марки Ст3+08Х13. Замеры твердости основного металла на наружной и внутренней поверхности корпуса (в том числе вблизи трещины), оценка механических характеристик основного металла в зоне трещины при испытаниях специально изготовленных образцов с определением предела прочности, предела текучести, ударной вязкости и угла загиба, а также металлографического исследования показали, что металл обладает нормальным качеством и свойствами. Оценка качества соединения основного и коррозионностойкого слоев биметалла Ст3 + 08Х13 и контроль качества биметалла вблизи трещины, выполненные ультразвуковым методом, также показали положительные результаты. При таком качестве и свойствах биметалла ожидать в нем зарождения трещины и ее развития до сквозного разрушения возможно только при аномально больших перегрузках, которые по свидетельству обслуживающего персонала и эксплуатационной документации не возникали.

В отличие от этого, результаты оценки механических характеристик сварного соединения, пораженного трещиной, показали, что значения твердости легированного слоя шва при замере на поперечных шлифах в 2 раза превышают нормативные значения и достигают 420 НВ, а угол загиба с растяжением легированного шва составляет 15-35о при норме 100о. Так как трансформация структуры легированного шва с уменьшением пластических характеристик в штатных условиях эксплуатации колонны проходить не может, то такая структура могла образоваться только в процессе сварки при изготовлении корпуса колонны. Поэтому представляет интерес анализ возможности и условий получения указанных отклонений при выполнении данного стыкового шва из двухслойной стали.

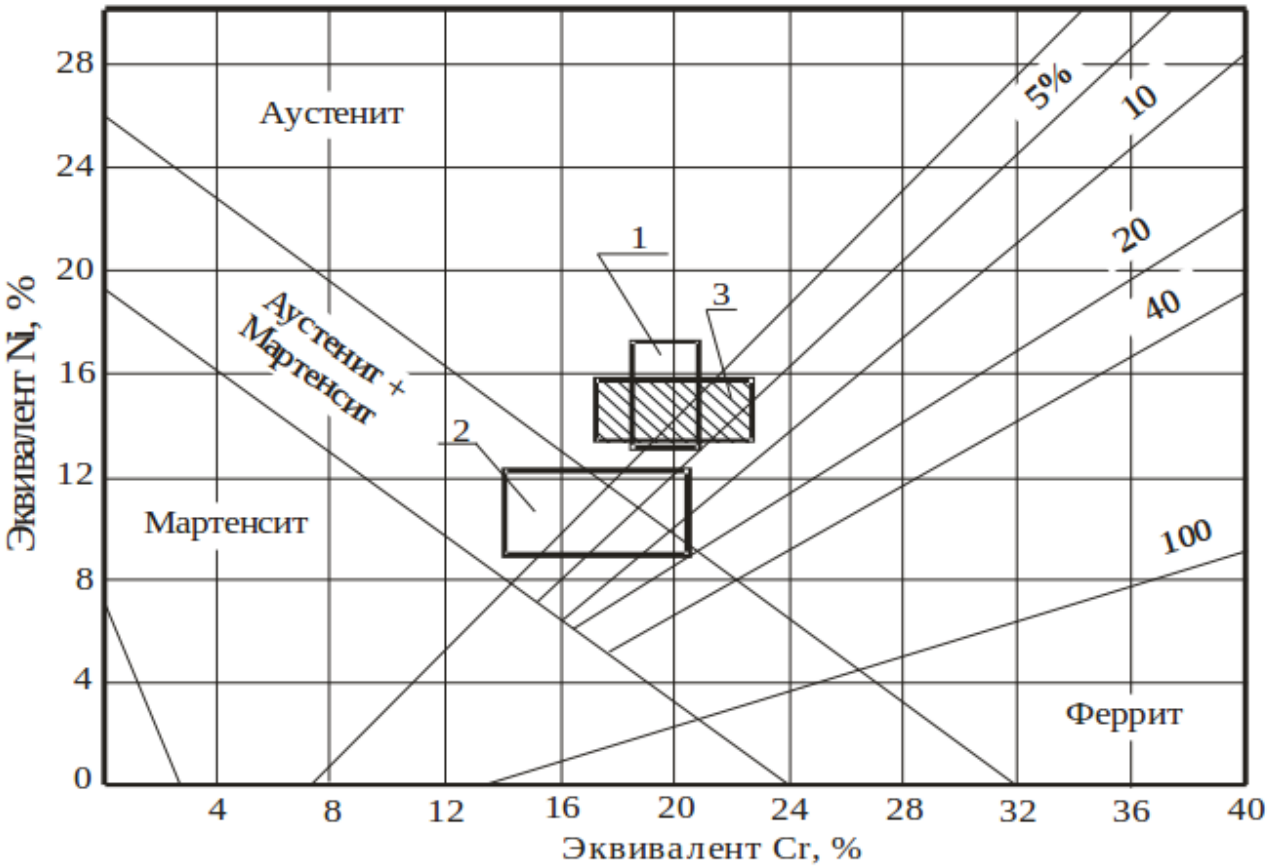
Сварка стыковых швов из двухслойной стали, у которой слои имеют различный химический

состав, относится к сварке разнородных сталей, имеющей определенные особенности. Сварные соединения стали 08Х13 до сих пор выполняются аустенитно-ферритными электродами типа Э-10Х25Н13Г2. Для выполнения указанного условия необходима специальная подготовка кромок стыка, которая в практике изготовления технологического оборудования с применением штучных электродов.

Основным обстоятельством, которое может привести к образованию малопластичной структуры легированного слоя шва, при изготовлении и ремонте технологического оборудования, является применение электродов Э-07Х20Н9 вместо электродов Э-10Х25Н13Г2. Такая замена электродов имела место достаточно часто в первые десятилетия изготовления корпусов аппаратов из двухслойных сталей. Для выяснения этого обстоятельства можно рассмотреть варианты использования указанных электродов путем построения структурных областей на структурной диаграмме Шеффлера (рисунок 1), которой принято пользоваться для этих целей [1].

Как отмечено выше, легированный слой шва наплавляется после сварки несущего слоя из стали Ст3. Таким образом, состав легированного слоя шва включает в себя практически полностью перемешанные в жидкой сварочной ванне до равномерного состава части расплавленного электрода, оплавленного основного слоя шва (электроды Э-42А) и оплавленного легированного слоя двухслойной стали 08Х13. Для режимов ручной дуговой сварки доля участия основного металла в образовании шва обычно составляет 15-20% (5% 08Х13 + (10-15)% Ст3). Остальные 80-85% приходятся на электрод. Указанные соотношения могут быть приняты в качестве исходных данных при построении структурных областей металла легированного шва на диаграмме Шеффлера. Выполненное построение свидетельствует, что применение электродов Э-07Х20Н9 вместо Э-10Х25Н13Г2 при сварке легированного слоя приводит к образованию малопластичной мартенситной структуры с высокой твердостью на большинстве рекомендованных режимов, а уже незначительное превышение режима полностью смещает зону возможных структур в аустенитно-мартенситную и даже мартенситную область. В отличие от этого применение электродов Э-10Х25Н13Г2 на паспортных режимах гарантирует получение пластичных структур без мартенситной составляющей и требуется большое превышение рекомендуемых значений сварочного тока для смещения состава шва в область аустенитно-мартенситных структур. Такое превышение маловероятно, т.к. приводит к растрескиванию покрытия электрода.

Построение структурных областей, получаемых при ручной дуговой сварке легированного слоя шва двухслойной стали Ст3+08Х13



1 - Область возможных структур металла легированного шва при сварке на рекомендуемом режиме электродами Э-10Х25Н13Г2;
2 - Область возможных структур металла легированного шва при сварке на рекомендуемом режиме электродами Э-07Х20Н9;
3 - Область возможных структур металла облицовочного валика, выполненного электродами Э-07Х20Н9 по легированному или разделительному слою шва, выполненного этими же электродами.

Рисунок 1

Следует отметить естественное стремление сварщика придать товарный вид легированному слою шва, т.к. он является последним. Поэтому на поверхности основных валиков шва сварщик наплавляет так называемый облицовочный валик. Особенно этот валик стремятся выполнить в тех случаях, когда предыдущий валик (или слой шва) выполнен небрежно и даже с нарушением режима. В этом случае последний облицовочный слой аустенитно-ферритного шва прикрывает предпоследний слой, имеющий отклонения не только по внешнему виду, но также по составу и свойствам, что особенно важно, так как при этом облицовочный валик будет иметь состав и структуру с нормальной твердостью. К этому выводу приходят также при анализе возможных структур металла шва путем построения соответствующих областей на диаграмме Шеффлера. На рисунке 1 представлено такое построение для случая применения электродов Э-07Х20Н9. Таким образом, полученный нормальный уровень твердости на поверхности облицовочного валика не гарантирует такие же твердость и пластические характеристики по всей толщине легированного шва двухслойной стали. В этом случае замер твердости поверхности может показать различные

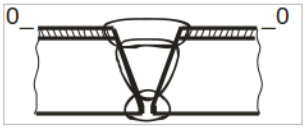
результаты: повышенные значения твердости в участках без облицовочного валика и нормальные значения твердости на поверхности облицовочных валиков.

Это обстоятельство предопределило необходимость выполнения послойного замера твердости легированного шва после снятия легированного шва на соответствующую глубину со спектральным анализом состава на каждой площадке с замеряемой твердостью (см. таблицу 1). Полученные результаты подтверждают результаты анализа с использованием диаграммы Шеффлера.

Полученные данные позволили определить вероятную причину образования сквозной трещины на корпусе колонны. Зарождение трещины наиболее вероятно имело место в малопластичном участке легированного слоя шва.

Таблица 1

Обследованные слои на разной глубине корпуса колонны от вершины наплавки

Место замера	Глубина, мм	Содержание основных легирующих элементов, %		Твердость по Бринеллю, НВ	Особенности строения сварного соединении, выявленные при металлографическом исследовании
		Cr	Ni		
	+2,7	15,61	6,92	179-203	Облицовочный слой электродами Э-07Х20Н9.
	+1,7	14,89	6,33	218-300	Разделительный шов электродами Э-07Х20Н9 на повышенных режимах.
	0,0	15,52	6,13	276-300	
	-1,5	10,82	4,14	344-420	
	-3,0	1,45	–	227-267	Оплавление плакирующего слоя 08Х13 при сварке основного слоя Ст3 электродами Э-42А.
	-4,5	0,51	–	205-257	
	-6,0	0,35	–	200-203	
	-9,0	–	–	142-161	Сварка Ст3 электродами Э-42А.

Выводы и рекомендации:

1. Сварное емкостное и теплообменное оборудование опасных производственных объектов из двухслойных (биметаллических) сталей имеет специфические особенности, которые необходимо учитывать в процессе проведения работ по экспертизе промышленной безопасности и при эксплуатации этого оборудования.
2. Для повышения эффективности проведения работ по техническому диагностированию и снижения степени риска при дальнейшей эксплуатации этого оборудования необходимо до начала работ по техническому диагностированию, специалистам экспертных организаций подробно рассмотреть особенности диагностирования сварных соединений из двухслойных

сталей и намечать конкретную программу их обследования с учетом особенности конструкции и конкретных условий эксплуатации.

Список литературы

1. Земзин В.Н. Сварные соединения разнородных сталей. М.: Машиностроение, 1966. 290с.