

ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК «СТАЛЬ + КОРРОЗИОННОСТОЙКАЯ СТАЛЬ» СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

А.Ю. Малахов, И.В. Сайков

В работе описан опыт применения "обратной схемы" плакирования взрывом внутренней поверхности труб с использованием опорных элементов. Данные элементы применялись с целью уменьшения поперечной деформации трубной заготовки в процессе сварки взрывом. В качестве опор в ходе проведения экспериментальной части работы использовались стальной стержень и твердо-жидкая среда (металлическая дробь+вода), которые позволили получить биметаллические трубы «37Г2Ф+08Х18Н10Т» длиной 1 метр с минимальным значением сужения наружной трубы и овальности. Каких-либо поверхностных дефектов после сварки взрывом на трубах обнаружено не было. Плакирующий слой после взрывного воздействия благодаря использованию опорного элемента не подвергся разрушению. При визуальном осмотре в макроструктуре поперечных темплетов трещин и расслоений выявлено не было. Сплошность сцепления слоев в биметаллических трубах подтверждена ультразвуковым контролем и металлографическими исследованиями. Прочность сцепления слоев подтверждена испытаниями на загиб 160° и 90° без расслоения на границе соединения. Результаты испытаний основного слоя из стали 37Г2Ф показали, что его механические свойства после сварки взрывом завышены, а, следовательно, для дальнейшего технологического передела (горячей или холодной прокатки) необходима термическая обработка для снятия остаточных напряжений и повышения пластичности.

Ключевые слова: сварка взрывом, схемы плакирования, внутренний наполнитель, поперечная деформация, обратная схема сварки взрывом, биметалл, двухслойная заготовка, насосно-компрессорные трубы.

В нефтедобывающей отрасли существует проблема преждевременного выхода из строя узлов и агрегатов насосно-компрессорного оборудования. Механическое воздействие и влияние агрессивных сред приводят к частичному или полному разрушению изделий. Например, в условиях добычи нефти в Российской Федерации нефтедобывающее оборудование подвержено быстрому износу. Причиной этого является наличие в добываемой нефти высокоминерализованной воды с растворенными газами CO₂, H₂S и деятельность сульфатвосстанавливающих бактерий, что характерно для скважин на завершающей стадии освоения [1,2]. Таким образом, применение биметаллических материалов является актуальным при проектировании насосно-компрессорного оборудования. Применение биметаллических труб позволит повысить кавитационно-коррозионную стойкость со стороны рабочей поверхности при сохранении высокой конструкционной прочности. Экономическая эффективность применения биметаллов обусловлена повышением ресурса эксплуатации при значительном сокращении расхода деталей и запчастей и уменьшении вынужденных

простоев скважинного оборудования при внеплановых ремонтах.

Применяемые в промышленности способы производства биметаллических труб и прутков могут быть классифицированы в зависимости от метода получения соединения слоев следующим образом [3]:

- Металлургические способы, основанные на получении сварки при взаимодействии расплава металла с твердым компонентом (центробежное литье, наплавка);
- Термомеханические способы (прокатка, прессование, волочение и др.), основанные на получении сварки в процессе макропластической деформации металлов в твердом состоянии;
- Термодиффузионные способы, основанные на сварке в твердом состоянии при малых пластических деформациях (термодиффузионная сварка);
- Физико-химические и термомеханические способы, заключающиеся в нанесении покрытий из окружающей среды на металл (электрохимические напыления в вакууме, высаживания из металлических расплавов);
- Способы, использующие импульсные нагружения, основанные на высокоскорост-

ном соударении твердых металлов (сварка взрывом).

Сварка взрывом выгодно отличается от остальных перечисленных способов тем, что: не требует сложного дорогостоящего оборудования и значительных затрат электроэнергии. Технология сварки является достаточно гибкой в плане перехода между сортаментами биметаллических заготовок и объемами выпуска – от массового до штучного.

Однако, необходимо отметить, что в практике применения сварки взрывом для производства биметаллических труб существует такая проблема, как существенное снижение качества соединения по мере удаления точки контакта от места инициирования [4-6]. На расстоянии более 8-10 диаметров от точки инициирования происходит снижение механических свойств сварного соединения и даже в некоторых случаях разрушение плакирующего слоя. Зона неустойчивости сварки наблюдается как при плакировании сплошной заготовки, так и при получении полых биметаллической трубы. До конца причины потери устойчивости процесса не ясны. В работах [5, 6] проблемы сварки цилиндрических изделий связывают со следующими процессами: неустойчивость сварки объясняется возникновением кумулятивной струи, оплавляющей свариваемые поверхности, и, в ряде случаев, вызывающей пробой плакирующей трубы. Также в области потери устойчивости увеличивается размер вихревых зон («карманов») вплоть до образования сплошной прослойки оплавленного металла, что авторы связывают с комплексным воздействием нескольких факторов, основным из которых является так называемый «канальный эффект».

Также на качество соединения при сварке взрывом цилиндрических заготовок, несомненно, влияет газ, находящийся в зазоре между свариваемыми трубами, который сжимается и движется впереди точки контакта с гиперзвуковой скоростью. Так как в этом случае нет бокового истечения газа, то происходит значительное увеличение его температуры и соответственно температуры поверхностей труб, находящихся в контакте с разогретым газом. С увеличением расстояния от точки инициирования газ разогревается все больше и тем самым влияет на устойчивость процесса и качество соединения исходных элементов [7-9].

Цель работы заключалась в отработке экспериментальных схем плакирования взрывом внутренней поверхности стальной трубы слоем из коррозионностойкой стали и исследование полученных модельных биметаллических заготовок.

Главными требованиями к биметаллической заготовке являются сплошность и прочность сцепления слоев, удовлетворяющие условиям дальнейшего технологического передела (прокатки в трубы различного сортамента).

В качестве исходных материалов использовались трубы из стали 37Г2Ф (основной слой толщиной 12 мм) и стали 08Х18Н10Т (плакирующий слой толщиной 2,5 мм). Наружный диаметр трубы основного слоя составлял 108 мм, а нержавеющей трубы – 80 мм. Длина труб составляла 1 метр.

Поскольку сварка взрывом осуществляется посредством метания плакирующего слоя (как правило более тонкого) на основу, то существуют определенные границы параметров (скоростей) сварки. В существующей постановке задачи более тонкий слой находится внутри цилиндрической сборки, что значительно осложняет обеспечение необходимых параметров метания, так как это подразумевает расположение взрывчатого вещества внутри сборки и требует определенных мероприятий по сохранению целостности трубы-основы. Таким образом, оптимальной в данном случае является применение так называемой «обратной схемы», предусматривающей метание наружной более толсто-стенной трубы на внутреннюю тонкую нержавеющую плакировку (рисунок 1) [10]. Следовательно, для соблюдения оптимальных параметров соударения слоев необходимо обеспечить определенную инерцию внутренней тонкостенной трубе за счет применения опорной среды. В настоящей работе опробовано два вида экспериментальных схем с опорной средой в виде стального стержня и металлической дробы с водой.

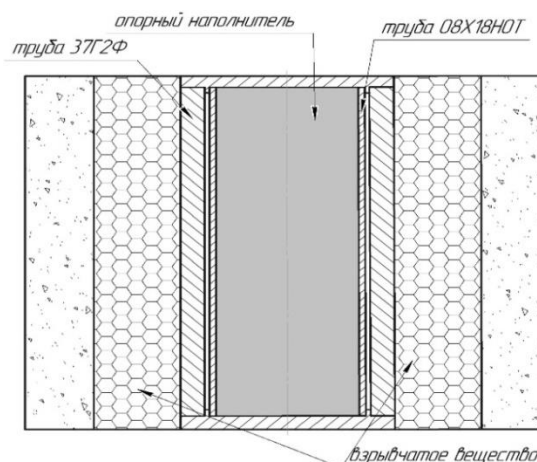


Рисунок 1 – Экспериментальная схема сварки взрывом двухслойных трубных заготовок с применением опорных элементов

ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК «СТАЛЬ + КОРРОЗИОННОСТОЙКАЯ СТАЛЬ» СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

Экспериментальные схемы предполагали заполнение внутренней полости собранных труб средой, которая позволила бы снизить степень поперечной деформации труб в процессе взрывного плакирования, а также предотвратить разрушение плакирующего тонкостенного слоя. В первом варианте в качестве внутреннего наполнителя, т.е. опорного элемента, был использован стальной стержень из стали Ст3 диаметром 70 мм. Зазор между стержнем и нержавеющей трубой заполнялся поваренной солью. Это было сделано для того, чтобы путем растворения соли извлечь стержень из сборки после сварки взрывом. Во втором варианте опорным элементом была твердо-жидкая среда, кото-

рая представляла собой стальную дробь и воду.

Согласно представленным схемам, заряд ВВ (смесь аммиачной селитры с дизельным топливом) помещался на наружную поверхность толстостенной трубы из стали 37Г2Ф и ограничивался опалубкой соответствующего диаметра. Скорость точки контакта составляла 2800-2900 м/с. Для стабильной детонации и предотвращения чрезмерного разлета ВВ была использована забойка из песка (рисунок 2б). Все трубы из стали 37Г2Ф перед сборкой проходили цветную дефектоскопию для проверки их на наличие поверхностных дефектов.



а)



б)

Рисунок 2 – Сборка схемы на полигоне: а – установка труб и опорной среды, б – укладка ВВ и забойки из песка



Рисунок 3 – Биметаллические трубы 37Г2Ф+08Х18Н10Т, полученные сваркой взрывом

В результате экспериментов по разработанным схемам были получены образцы биметаллических труб. В журнале **ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2017**

металлических трубных заготовок длиной до 1000 мм (рисунок 3).

Необходимо отметить, что внутренняя поверхность полученных сваркой взрывом трубных заготовок в случае использования схемы с твердожидким наполнителем имеет множественные углубления чашеобразной формы, возникшие в результате соударения стальных дробин о стенку трубы (рисунок 4а). Глубина залегания данных отпечатков не превышает 0,26-0,32 мм. Внутренняя поверхность заготовки, полученной по схеме с использованием стального стержня имеет гладкую форму без вмятин, складок и т.п. (рис. 4б).

Ультразвуковой контроль сплошности соединения показал наличие дефектов сплошности на концевых участках двухслой-

ных труб размером не более 10% от общей длины заготовки. Краевые дефекты обусловлены схемой центрирования и обеспечения жесткими кольцами сварочного зазора между плакируемой и плакирующей заготовками. Помимо этого, непровары в конечной области связаны с потерей устойчивости сварки по длине [6], а также с наличием оплавлений по которым происходит расслоение [10].

Для оценки степени деформации полученных сваркой взрывом двухслойных трубных заготовок были проведены замеры



а)

наружного диаметра труб по всей длине и измерена их овальность. При исходном наружном диаметре основной толстостенной трубы в 108 мм, после сварки взрывом он находился в пределах 102 мм для трубы с твердожидким наполнителем и 104 мм для трубы с наполнителем в виде стального стержня, овальность трубы составила 0,3% и 0,1% соответственно.



б)

Рисунок 4 – Внешний вид внутренних поверхностей полученных трубных заготовок

Для дальнейших исследований из двухслойных труб были изготовлены кольцевые образцы для определения толщины плакирующего слоя, изучения макро- и микроструктуры границы соединения и продольные/поперечные темплеты для проведения испытаний механических свойств. Образцы отбирались из биметаллической трубы на расстоянии 100 мм от её начала и 100 мм от

конца. При визуальном осмотре в макро-структуре поперечного темплета трещин и расслоений ни на одном из образцов выявлено не было.

Результаты исследований кольцевых образцов показали, что толщина плакирующего слоя во всех заготовках варьировалась от 2,40 до 2,49 мм (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты замера толщины плакирующего слоя

	Толщина плакирующего слоя, мм, в квадрантах			
	Квадрант №1	Квадрант №2	Квадрант №3	Квадрант №4
	2,48	2,42	2,46	2,40
	2,44	2,46	2,47	2,44
	2,46	2,45	2,49	2,48
Среднее:	2,46	2,44	2,47	2,44

Испытание на загиб проводили в соответствии с ГОСТ 3728 на угол загиба 160° (плакирующим слоем вовнутрь) и 90° (плакирующим слоем наружу). При данном виде испытания расслоений на образцах обнаружено не было, что говорит о прочном сцеплении составляющих биметалла. Испытание на растяжение проводили в соответствии с ГОСТ 10006 на продольных образцах, изготовленных из основного металла (сталь марки 37Г2Ф). При испытаниях на растяжение образцов были получены следующие механические характеристики: предел прочности 200

составил 890 МПа, предел текучести – 790 МПа. Результаты механических испытаний говорят о высоком качестве полученных заготовок.

Исследование микроструктуры соединения в продольных шлифах показало:

- отсутствие периодической волновой структуры границы соединения в биметаллических трубных заготовках, полученных с использованием опорного наполнителя в виде стальной дробы с водой. Толщина переходной зоны на границе соединения на началь-

ПОЛУЧЕНИЕ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК «СТАЛЬ + КОРРОЗИОННОСТОЙКАЯ СТАЛЬ» СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

ном участке составила до 20 мкм, на конечном участке – до 120 мкм.

- Граница соединения в образцах, полученным по схеме со стальным стержнем меняется от классической волновой до неупорядоченной сплошной прослойки, состоящей из элементов исходных слоев биметалла. Причем различная форма границы наблюдается по диаметру трубы на одном и том же удалении от точки инициирования сварки взрывом.

Таким образом, исследования показали, что применение обратной схемы плакирования взрывом внутренней поверхности труб с использованием опорных элементов в виде стального стержня и твердой среды позволяет получать биметаллические трубы 37Г2Ф+08Х18Н10Т длиной 1 метр. Сплотность сцепления слоев в биметаллических трубах подтверждена ультразвуковым контролем и металлографическими исследованиями. Прочность сцепления слоев подтверждена испытаниями на загиб 160° и 90° без расслоения на границе соединения. Результаты испытаний основного слоя из стали 37Г2Ф показали, что его механические свойства после сварки взрывом завышены, а, следовательно, для дальнейшего технологического передела (холодная прокатка) необходима термическая обработка для снятия остаточных напряжений и повышения пластичности. Наиболее технологичной является схема с применением в качестве опорной среды твердо-жидкого наполнителя в виде дробы с водой.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-08-01248 А

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионова, И.Г. Современные подходы к повышению коррозионной стойкости и эксплуатационной надежности сталей для нефтепромысловых трубопроводов [Текст] / И.Г. Родионова, А.И. Зайцев, Бакланова О.Н., Голованов А.В., Эндель Н.И., Шаповалов Э.Т., Семернин Г.В. – М.: Металлургия, 2012. – 172 с.

2. Фрейдлин, М.О. Проблема выбора стали для насосно-компрессорных труб, эксплуатируемых в углекислотных средах [Текст] / М.О. Фрейдлин, С.А. Шадымухамедов // Коррозия Территории Нефтегаз. – 2011. – №1. – с. 28–34.

3. Чепурко, М.И. Биметаллические материалы [Текст] / М.И. Чепурко. – Л.: Судостроение, 1984. – 272 с..

4. Добрушин, Л.Д. Канальный эффект при сварке взрывом [Текст] / Л.Д. Добрушин, Ю.И. Фадеев, С.Ю.Илларионов, П.С. Шленский // Автоматическая сварка. – 2009. – №11. – с. 19–21.

5. Чепурко, М.И. Производство биметаллических труб и прутков [Текст] / М.И. Чепурко, В.Я. Остренко, А.А. Когадеев – М.: Металлургия, 1986. – 240 с.

6. Дидык, Р.П. Приближенный расчет осесимметричных движений стенки трубы при деформации взрывом [Текст] / Р.П. Дидык, С.С. Красновский, А.Г. Тесленко // Физика горения и взрыва. – 1968. – №2. – с. 260–265.

7. Первухин, Л.Б. К вопросу о предельных размерах листов, получаемых сваркой взрывом [Текст] / Л.Б. Первухин, О.Л. Первухина, И.В. Денисов, Т.А. Шишкин, Д.В. Ноняк // Известия ВолгГТУ. – 2016. – № 10. – с. 76–86.

8. Бердыченко, А. А. Исследование возможности самоочистки поверхностей при сварке взрывом в результате действия температурных напряжений [Текст] / А.А. Бердыченко, М. Х. Флат // Ползуновский альманах. – 2010. – №1. – с. 210–214.

9. Ишуткин, С.Н. Исследование теплового воздействия ударно-сжатого газа на поверхность соударяющихся пластин [Текст] / С.Н. Ишуткин, В.И. Кирко, В.А. Симонов // Физика горения и взрыва. – 1980. – № 6. – с. 69–73.

10. Малахов, А.Ю. Особенности сварки взрывом труб по «обратной схеме» / А.Ю. Малахов, И.В. Сайков, Л.Б. Первухин // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2016. – т.21. – №3. – с. 1139–1140.

Малахов Андрей Юрьевич – младший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, тел.: +7(49652)46372, e-mail: sir.malahov2009@yandex.ru

Сайков Иван Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мерджанова Российской академии наук, тел.: +7(49652)46372, e-mail: revan.84@mail.ru