

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ ЗОНЫ СОЕДИНЕНИЯ БИМЕТАЛЛОВ НА МОДЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦАХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЗМЕРОВ

О.Л. Первухина^{1*}, Л.Б. Первухин², Т.А. Шишкин¹, И.В. Денисов¹, П.Н. Николаенко¹,
Д.В. Ноняк¹, А.Ю. Малахов¹, И.В. Сайков¹

¹Федеральное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения Российской академии наук, Черноголовка, Россия

²ООО «Битруб Интернэшнл», Красноармейск, Россия

*opervukhina@mail.ru

В энергетическом, атомном и нефтехимическом машиностроении для защиты от коррозии применяются биметаллические изделия, обладающие одновременно высокими конструкционными и антикоррозионными свойствами. В частности, в конденсаторах АЭС используются крупногабаритные трубные решетки сталь+титан, получаемые только методом сварки взрывом. Двухслойные длинномерные трубы перспективно использовать в нефтегазодобывающей отрасли. Нанесение взрывом на стальные насосно-компрессорные трубы (НКТ) коррозионностойкого слоя из нержавеющей стали позволяет увеличить стойкость НКТ против различных видов коррозии, которая каждый год выводит из строя тысячи тонн стальных труб, работающих в скважинах. Увеличение габаритов оборудования обуславливает необходимость увеличения размеров биметаллических заготовок с сохранением высокого качества соединения слоев. В работе получены и исследованы крупногабаритные биметаллические заготовки в плоской и цилиндрической геометрии.

Исследование структуры и прочности соединения стали с титаном по площади крупногабаритной плоской биметаллической заготовки.

В работе проведены исследования структуры соединения биметалла марки «конструкционная низколегированная сталь 09Г2С + титан ВТ1-0» размером 31(26+5)х3300х3700 мм, полученного сваркой взрывом в среде аргона с локальными дефектами сплошности. Целью работы является исследование структуры и изменений свойств сварного соединения биметалла с удалением от начала процесса сварки по всей длине листа и в зоне дефектов сплошности соединения. Работа выполнена по СЧ ОКР «Исследование распределения прочности в зоне сцепления сталь-титан по площади биметаллической заготовки. Изготовление модельных и опытных образцов» (шифр «Титан БМ») совместно и по заданию ФГУП ЦНИИ «Прометей» в рамках ФЦП развития гражданской морской техники в период 2014–2016 г.г.

Ультразвуковой контроль сплошности соединения проводился по всей площади

двухслойный листов сталь–титан. Сканирование проводилось сначала на уровне чувствительности, настроенной по отверстию диаметром 5 мм, а затем 3,5 мм. Такая методика позволила выявить зоны «полупривара», имеющие пониженные механические характеристики.

Биметаллическая плита была разрезана на 2 равные части размерами 30(25+5)х1860х3280 мм, из части имеющей дефект сплошности были отобраны образцы для исследования прочности соединения и структуры (рис 1). Отбор образцов производился:

- по длине плиты в направлении сварки и по ширине в начальной и конечной зонах;
- в зонах, прилегающих к дефекту сплошности, выявленных при сканировании на уровне чувствительности, настроенной по отверстию диаметром 5 мм, включая точечные дефекты;
- из зоны дефекта сплошности, выявленного при сканировании на уровне чувствительности, настроенной по отверстию диаметром 3,5 мм, включая точечные дефекты.

При исследовании структуры соединения измеряли площадь литых включений и параметры волн в сварном соединении, затем площадь литых включений суммировали и находили отношение площади литых включений к длине измеренного участка. Результаты измерений наносили на теоретическую кривую определения глубины оплавления в зоне соединения, которую определяли по методике [1]. Аппроксимацию результатов проводили по методу наименьших квадратов в квадратичной функции.

Анализ результатов испытаний прочности соединения слоёв на отрыв показал:

а) в зонах, где УЗК не выявлено дефектов сплошности, в том числе точечных, составляет 302–424 МПа (рис. 1); поверхность разрыва с чётко выраженными волнами по всей поверхности соединения, цвет серебристый без включений;

б) на участках, вырезанных из зон прилегающих к дефекту сплошности не стабильна и колеблется в широких пределах от 65 МПа до 355 МПа.

в) в зоне, дефекта сплошности, выявленного при сканировании на уровне чувствительности, настроенной по отверстию диаметром 3,5 мм, прочность образцов меньше 100 Мпа; поверхность разрыва на большей площади тёмная, волны отсутствуют, на остальной части волна четко выраженная, цвет серебристый; в литых включениях выявлены интерметаллиды; результаты исследования глубины оплавления представлены на рисунке 2.

На основании комплекса исследований сделаны следующие выводы:

1. Технологический процесс сварки взрывом в среде аргона обеспечивает прочность соединения титана со сталью более 300МПа по всей поверхности крупногабаритных листов и данные УЗК дают объективную оценку качества соединения.

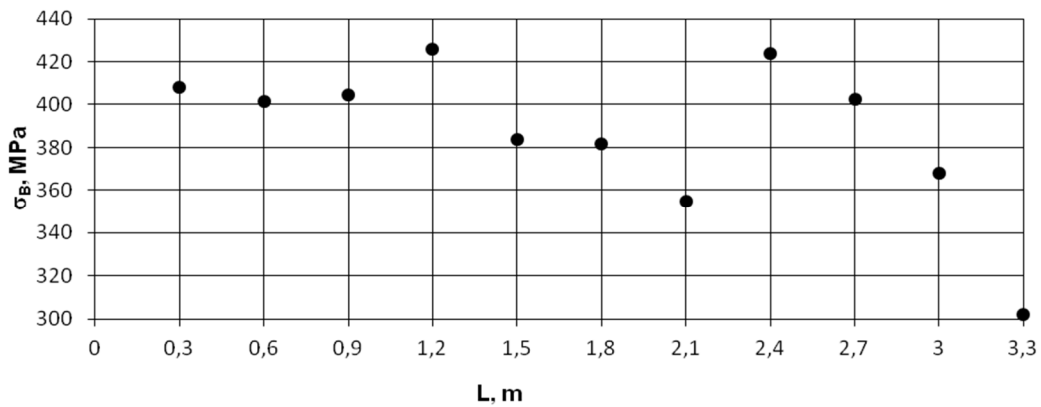


Рис. 1. Изменение прочности соединения на отрыв плакирующего слоя по длине листа.

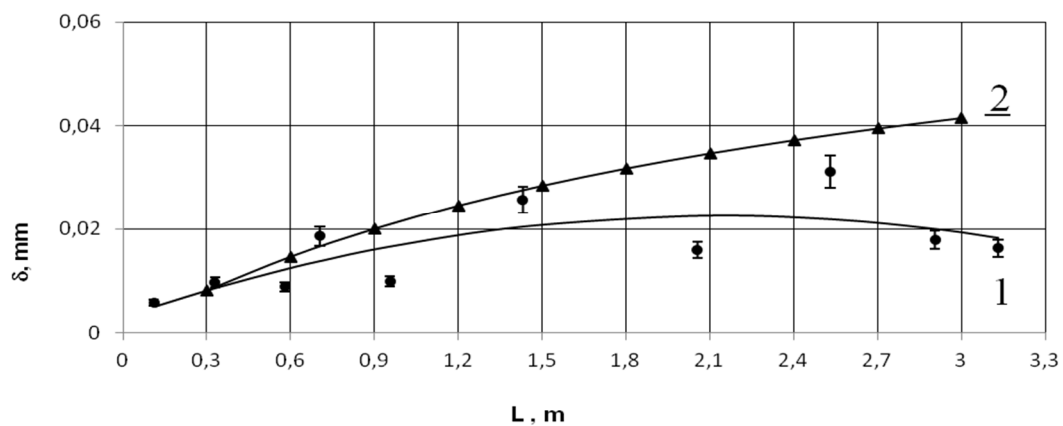


Рис. 2. Изменение глубины оплавления по длине листа.

1 – экспериментальная кривая, 2 – расчетная кривая.

2. Площадь литых включений практически не зависит от длины листа и колеблется в относительно узких пределах и близка к теоретической оценке по методике [1].

3. Появление участков несплошности и пониженной прочности, в структуре которых наблюдается повышенное содержание литых включений и интерметаллидов, обусловлено образованием воздушных карманов в сварочном зазоре.

Получение сваркой взрывом длинномерных изделий цилиндрической формы.

В практике применения сварки взрывом (СВ) для производства биметаллических изделий цилиндрической формы существует такая проблема, как существенное снижение качества соединения по мере удаления точки контакта от места инициирования [2–5]. На расстоянии 8–10 диаметров трубы и более от точки

инициирования происходит снижение механических свойств сварного соединения и даже разрушения лакирующего слоя [3]. Зона неустойчивости сварки наблюдается как при лакировании сплошной заготовки, так и при получении полой биметаллической трубы. Экспериментально установлено, что несоосность и кривизна свариваемых элементов, неравномерность заряда взрывчатого вещества (ВВ) по толщине или плотности, неправильная установка детонатора приводят к отклонению фронта распространения детонации от перпендикулярного к оси свариваемых заготовок, это, в свою очередь, приводит к образованию складок на поверхности, а также завихрений и пустот в зоне сварки [6–7].

В данной работе решалась задача по получению СВ длинномерных (более 10 диаметров) биметаллических трубных заготовок для НКТ с качественным сцеплением слоев путем разработки различных схем лакирования и их экспериментальной отработки. В качестве основных исходных материалов для проведения экспериментов использовались трубы: из стали 37Г2Ф размером 108x12 мм и из стали 08Х18Н10Т размером 80x2,5 мм; длина исходных труб составляла 1000 мм.

В ходе экспериментов по лакированию взрывом внутренней поверхности трубы и по схеме с двумя зарядами ВВ, взрываемых одновременно (рис. 3), было установлено, что в процессе сварки взрывом происходит прочное соединение лакирующей трубы с основной. Однако из-за того, что в какой-то момент времени внутренний заряд обгоняет внешний, происходит разрушение свариваемых труб. Исследования границы соединения фрагментов биметаллической трубы показали, что граница раздела двух слоев имеет характерную для сварки взрывом волнообразную форму с длиной волны 0,3 мм и высотой 0,1 мм. Введение в схему сварки внутреннего твердого наполнителя (рис. 4) в виде металлической дроби и воды, который имеет скорость звука близкую к скорости звука в лакирующей трубе, позволило избежать разрушения трубы. Элементы дроби отводят ударные волны, а жидкость, которая находится в зазорах между твердыми частицами, являясь несжимаемой при высокоскоростном нагружении, предотвращает смятие тонкостенной лакирующей трубы. Существенным преимуществом схемы является возможность многократного использования твердых частиц, а также лёгкость монтажа при сборке под сварку взрывом и удаления внутреннего элемента после сварки.

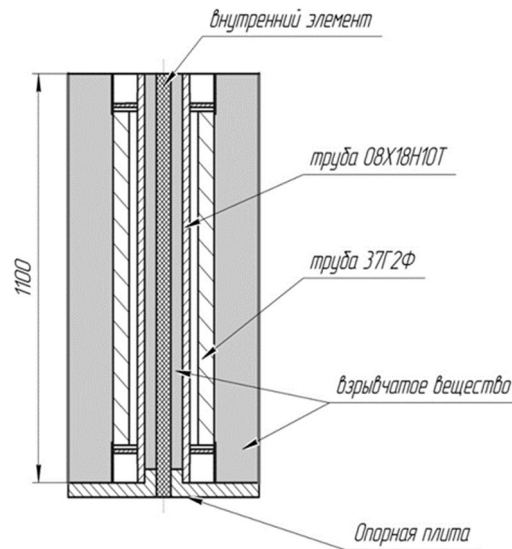


Рис. 3. Схема сварки взрывом с двухсторонним зарядом ВВ.

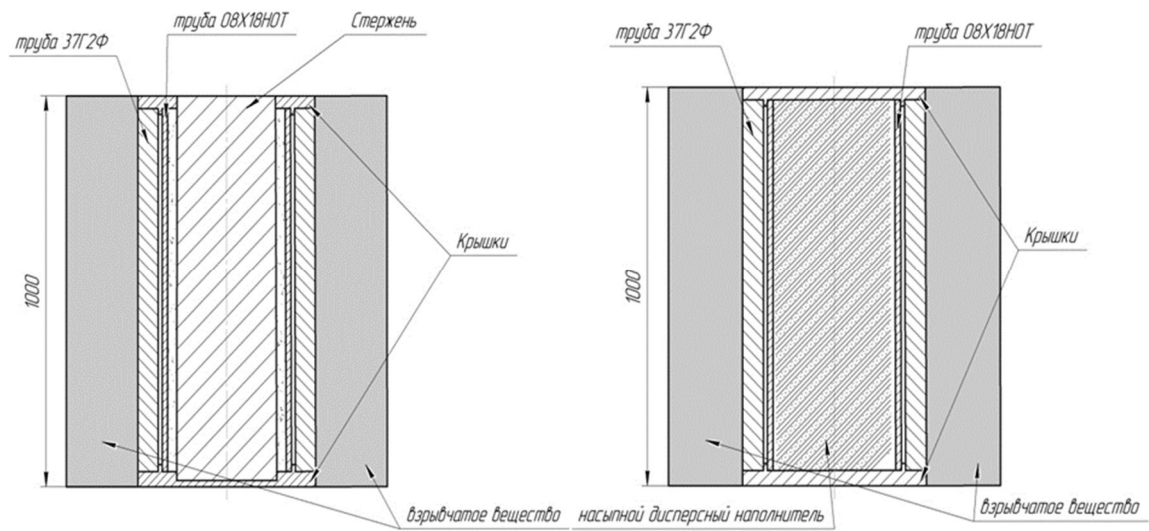


Рис. 4. Схемы сварки взрывом труб с зарядом ВВ на наружной поверхности основной трубы: а – внутри полости плакирующей трубы установлен металлический стержень, в – внутренняя полость плакирующей трубы заполняется дисперсным твёрдо-жидким наполнителем.

Исследование микроструктуры соединения в продольных шлифах, взятых на расстоянии 100 мм от начала и конца биметаллической трубы показало:

1. Отсутствие трещин и расслоений в плакирующем слое и основном металле, а также между слоями (рис. 5), за исключением одного локального участка с зоной несплошности (рис. 6).
2. Обнаружена переходная зона на стыке основного и плакирующего слоя величиной 0,010–0,014 мм, причем с увеличением расстояния от начала инициирования толщина прослойки возрастает.

3. Толщина плакирующего слоя уменьшилась с 2,5 мм (исходная толщина плакирующей трубы) до 2,40–2,48мм.

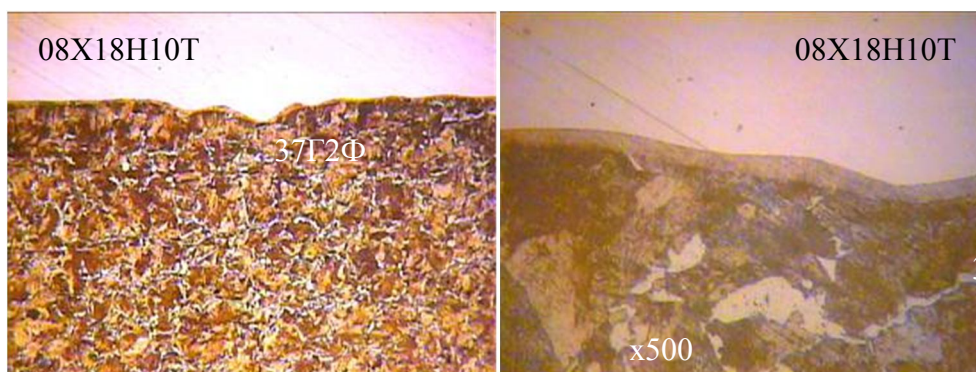


Рис. 5. Микроструктура соединения 37Г2Ф+08Х18Н10Т (продольное направление).

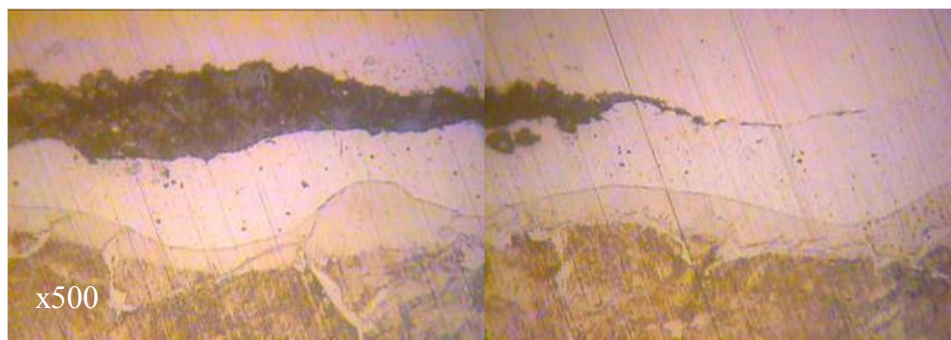


Рис. 6 Микроструктура с зоной дефекта в плакирующем слое.

Исследованием на оптическом микроскопе продольного шлифа до и после травления в 4% спиртовом растворе HNO_3 установлено, что полость дефекта расположена в металле плакирующего слоя. Оценка механических свойств биметаллических труб показала, что после взрывной обработки их прочностные свойства завышены, поэтому для увеличения пластичности и снятия остаточных напряжений необходимо проводить соответствующую термообработку изделия.

Трубные заготовки прошли 100% ультразвуковой контроль, который показал удовлетворительную сплошность сцепления слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 17-08-01248_a.

Литература

1. С.Ю. Бондаренко, Д.В. Рихтер, О.Л. Первухина, Л.Б. Первухин. Определение параметров ударно-сжатого газа в сварочном зазоре впереди точки контакта при сварке взрывом. Автоматическая сварка, 2009, №11, стр. 46 – 48.

2. А.В. Крупин, В.Я. Соловьев, Н.И. Шефтель, А.Г. Кобелев. Деформация металлов взрывом. Москва, «Металлургия», 1975, 416 стр.
3. Р.П. Дидык. Разработка технологических основ и промышленное освоение процессов плакирования и упрочнения металлов взрывом. Диссертация канд. техн. наук; 05.16.05; 1979, Днепропетровск, 330 стр.
4. Л.Д. Добрушин, Ю.И. Фадеенко, С.Ю. Илларионов, П.С. Шленский. Канальный эффект при сварке взрывом. Автоматическая сварка, 2009, №11, стр. 19–21.
5. В.П. Мелихов. О длине устойчивости сварки взрывом эксцентрично расположенных цилиндров. Сварка и резка взрывом. Под ред. В.М. Кудинова, Киев, Изд. ИЭС им. Е.О. Патона АН УССР, 1979, стр. 25–28;
6. М.И. Чепурко, В.Я. Остренко, А.А. Когадеев и др. Производство биметаллических труб и прутков. Москва, «Металлургия», 1986, 240 стр.
7. Р.П. Дидык, С.С. Красновский, А.Г. Тесленко. Приближенный расчет осесимметричных движений стенки трубы при деформации взрывом, Физика горения и взрыва, 1968, т. 4, №2, , стр. 260–265.