УДК 621.791.13

DOI: 10.35211/1990-5297-2020-11-246-37-40

*Л. Б. Первухин, д-р техн. наук, И. В. Денисов, канд. техн. наук, Т. А. Шишкин, инженер,
О. Л. Первухина*, канд. техн. наук*

ОПЫТ ПРОИЗВОДСТВА КРУПНОГАБАРИТНОГО БИМЕТАЛЛА ТИТАН-СТАЛЬ ДЛЯ ТРУБНЫХ ДОСОК КОНДЕНСАТОРОВ АЭС

ООО «Битруб Интернэшнл», г. Красноармейск, bitrub@mail.ru

** ИСМАН им. А. Г. Мерджанова РАН, г. Черноголовка, opervukhina@mail.ru*

Изложены основные положения современной технологии производства биметаллических листов для изготовления трубных досок конденсаторов АЭС и конденсаторов атомных ледоколов. Высокое качество по сплошности соединения и прочности обеспечивается сваркой взрывом в среде аргона. Приведены результаты испытаний свойств 216 биметаллических листов сталь-титан.

Ключевые слова: сварка взрывом, биметаллические листы, сталь-титан, трубные доски, сварочный зазор, сборка пакета, аргон, отбор проб

*L. B. Pervukhin, I. V. Denisov, T. A. Shishkin, O. L. Pervukhina**

EXPERIENCE IN PRODUCTION OF LARGE-SIZE TITANIUM-STEEL BIMETAL FOR PIPE BOARDS OF NPP

Bitrub International, Krasnoarmeysk, bitrub@mail.ru

** Merzhanov Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science RAS,
Chernogolovka, opervukhina@mail.ru*

The main provisions of modern technology for the production of bimetallic sheets for the manufacture of pipe boards for nuclear power plant condensers and nuclear icebreaker condensers are described. High quality in connection continuity and strength is provided by explosion welding in argon medium. The results of testing the properties of 216 bimetallic steel-titanium sheets are presented.

Keywords: explosion welding, bimetallic sheets, steel-titanium, pipe boards, welding gap, package assembly, argon, sampling

Обязательными требованиями предъявляемыми к биметаллу сталь+титан для трубных досок конденсаторов АЭС и атомного ледокола являются обеспечение 0 класса сплошности соединения слоев по ГОСТ 22727-83 в зоне сверления отверстий (не более 1 см²), повышенные требования к плоскостности (2 мм на 1 п/м) и прочности соединения не менее 200 МПа. Эти требования отражены в ТУ 27.81.09.009-2005 «Заготовки двухслойные сталь + титан, полученные сваркой взрывом» и ТУ 5.961-11917-2015 «Плиты биметаллические «Сталь-Титан» (держатель подлинника НИЦ "Курчатовский институт" – ЦНИИ КМ "Прометей".

На основании комплекса исследований структуры и свойств биметаллических модельных образцов сталь+титан [1 ... 3] выявлено, что атмосфера в сварочном зазоре при сварке взрывом оказывает ключевое

влияние на структуру зоны соединения слоев. Площадь литых включений и размеры волн в соединении при сварке взрывом в аргоне практически не зависят от длины листа и колеблются в относительно узких пределах с незначительным возрастанием в зоне начала деформации растяжения плакируемого листа. Разработаны научные и технологические основы промышленного производства крупногабаритных листов биметалла сваркой взрывом, включающие критерии условий получения качественного соединения, учитывающие процессы, происходящие в сварочном зазоре перед точкой контакта и свойства свариваемых материалов [4, 5].

Эти исследования позволили разработать современную технологию промышленного производства биметаллических листов и плит сталь-титан в среде защитного газа аргона.

Основные положения технологии:

1. Определение расчетной величины зоны ударно-сжатого газа (УСГ), исходя из заданных размеров биметаллического листа, газа в сварочном зазоре, температуры окружающей среды на взрывной площадке. По результатам расчётов выбирается схема сварки взрывом и назначаются режимы с учётом свойств свариваемых материалов титана и стали.

2. Разработка конструкции и технология сборки пакетов с учётом размеров исходных материалов, температуры окружающей среды.

3. Технология подготовки поверхностей исходных материалов.

- Поверхность листа основного слоя подвергается абразивной зачистке и полировке для снижения шероховатости поверхности.

- Подготовка плакирующего слоя из титана наиболее трудоёмкая операция и заключается в сварке карты из листов титана

с обеспечением качества сварного шва в соответствии с требованиями технических условий и отсутствия деформации листов в зоне сварных швов. Аргонодуговая сварка производится в соответствии с ОСТ 26-11-06-85 проволокой марки ВТ1-00 или ВТ1-00С по ГОСТ 27265-87 аттестованным сварщиком по инструкции, согласованной с головной материаловедческой организацией. В качестве защитного газа применяется аргон высшего и 1-го сорта по ГОСТ 10157 с проверкой на технологической пробе. Качество сварных соединений контролируются цветной дефектоскопией в соответствии с ГОСТ 18442-80 и радиографическим методом по ГОСТ 7512-82. Требования по техническим условиям. Усиление сварных швов удаляются, а поверхность карты полируется.

4. Перед сборкой пакета основной лист и карта сварная плакирующего слоя обезжириваются. Для сборки пакета разработан ряд технологических приемов, обеспечивающих

Рис. 1. Схема отбора проб для испытаний из листа двухслойного сталь+титан

герметичность сварочного зазора в процессе транспортировки и установки на опору на взрывной площадке.

- На взрывной площадке пакет устанавливается на песчаную опору, контролируется наличие сварочного зазора и его герметичность, после монтажа заряда произво-

- После сварки взрывом проводятся следующие виды контроля: визуально-измерительный, ультразвуковой сплошности соединения слоёв, капиллярный сварных швов плакирующего слоя.

5. Биметаллические листы для снятия напряжений подвергаются термической об-

Свойства биметалла сталь+титан для трубных решёток конденсаторов, изготовленного по современной промышленной технологии

№ п / п	Марка биметалла Размеры мм	Свойства биметалла						Объём производ- ства		Трубные решётки конденсато- ра АЭС
		УЗК %	Плос- кост- ность мм/п.м.	$\sigma_{отр'}$ МПа	$\sigma_{ср'}$ МПа	Изгиб 120°	Боко- вой из- гиб 80°	шт.	м²	
1	09Г2С+ ВТ1-0 48(40+8)х1800х3400	100	2±1	290- 375	230- 345	уд	уд	8	49	"Кудам Ку- лан"
2	09Г2С-13+ ВТ1-0 30(25+5)х3200х3600	100	2±1	284- 428	221- 389	уд	уд	36	414	Блок №3 Ро- стовской
3	09Г2С-12+ ВТ1-0 30(25+5)х3200х3600	100	2±1	230- 350	310- 365	уд	уд	36	414	Блок №4 Ро- стовской
4	09Г2С-12+ ВТ1-0 30(25+5)х3200х3600	100	≤ 2	220- 385	290- 340	уд	уд	72	414	Блок №4 Балаковской
5	09Г2С+Grade 1 30(25+5)х3200х3600	100	≤ 2	338- 497	214- 388	уд	уд	72	414	Блок №2 Балаковской
6	09Г2С-13+ ВТ1-0 38(30+8)х2600х2700	100	2±1	398- 365	325- 375	уд	уд	8	56	"Кудам Ку- лан"
7	09Г2С-13+ ВТ1-0 60(55+5)х2600х3406	100	2±1	220- 405	390- 475	уд	уд	64	506	«Руппур»

дится заполнение сварочного зазора аргоном, тип боевика и схема инициирования заряда назначаются в зависимости от размеров листа и расположения сварных швов. После контроля качества заполнения сварочного зазора аргоном производится подрыв заряда.

работке с нагревом не выше 540°C. После сварки правка листов производится на вальцах с обеспечением требуемой плоскостности в соответствии с техническими условиями и чертежом трубной доски.

Для контроля качества готовых биметаллических плит разрабатывается схема отбо-

Рис. 2. Изготовление трубной решетки конденсатора АЭС "Руппур" из биметаллической плиты 09Г2С+ ВТ1-0 размерами 60(55+5)х2600х3406 мм

ра проб и изготовления из них образцов (рис. 1). Обрезка плит в размер и отбор проб производится плазменной резкой. Готовый лист маркируется в соответствии с техническими условиями. Готовые листы отгружаются автотранспортом партиями.

По разработанной технологии были изготовлены 216 шт. заготовок трубных досок для Ростовской и Балаковской АЭС (таблица). Для изготовления заготовок трубных досок конденсатора для 3-его энергоблока Ростовской АЭС сварная карта изготавливалась из пяти листов (четыре сварных шва). Для энергоблока Балаковской АЭС в сварной карте выполняли один сварной шов из импортного титана шириной 1900 мм марки Grade 1, что значительно снизило трудоемкость технологии. Изготовление трубных досок, сверление отверстий в них подтвердило высокое качество биметалла.

При производстве биметаллических листов сталь-титан для изготовления трубных досок конденсатора атомного ледокола весь технологический процесс производства проходит под контролем Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) в соответствии с НД № 2-020101-095 [6] При этом РМРС одобряет все технологические документы производства, включая технологию изготовления карт сварных из титана, технологические инструкции. Отбор проб для проведения испытаний готовых биметаллических листов и их испытания проводятся под контролем специалистов РМРС. Сертификаты качества на исходные материалы, готовые биметаллические листы подписываются инспектором РМРС. Для изготовления трубных решёток конденсатора атомного ледокола проекта 22220 по разработанной тех-

нологии было изготовлено 8 биметаллических листов марки 09Г2С+ВТ1-0, качество которых соответствовало требованиям технических условий ТУ 5.961-11917-2015.

Заключение

Современная технология промышленного производства сваркой взрывом в среде аргона обеспечивает получение биметаллических листов, соответствующих по сплошности и прочности соединения слоёв, а также плоскостности требованиям технических условий. Биметаллические листы использованы для изготовления трубных досок конденсаторов отечественных и зарубежных АЭС.

Библиографический список

1. Исследование структуры и свойств по площади крупногабаритных решеток сталь-титан / О. Л. Первухина, И. А. Счастливая, А. М. Федоров, Л. Б. Первухин, Т. А. Шишкин // Известия ВолгГТУ. Сер. Сварка взрывом и свойства сварных соединений. – Волгоград, 2017. – № 13 (208). – С. 46-54.
2. Влияние состава атмосферы на образование соединения титана со сталью при сварке взрывом / О. Л. Первухина, А. А. Бердыченко, Л. Б. Первухин, Д. В. Олейников // Известия ВолгГТУ. Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений». Вып. 2 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2006. – № 9 (24). – С. 51-54.
3. Бердыченко, А. А. Эволюция структуры титана в зоне соединения, полученного сваркой взрывом / А. А. Бердыченко, Л. Б. Первухин, О. Л. Первухина // Металловедение и термическая обработка металлов. – 2009. – № 10 (652). – С. 19-24.
4. Производство биметалла сталь-титан сваркой взрывом и его применение в конструкциях теплообменников атомных энергетических установок / Л. Б. Первухин, С. В. Сериков, И. К. Устинов, О. Л. Первухина // Титан. – 2009. – № 1 (23). – С. 37-40.
5. Первухин, Л.Б. Теоретические и технологические основы промышленного производства биметаллов / Л. Б. Первухин, О. Л. Первухина, С. Ю. Бондаренко // Известия ВолгГТУ. Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений». Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 5 (65). – С. 75-82.
6. НД 2-020101-095. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XIII. МАТЕРИАЛЫ (редакция 2017 года).