

СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ В РЕАКТОРОСТРОЕНИИ

Европин С.В. Ёлкин В.Н. (АО «НИКИЭТ, Москва, Россия)

В середине прошлого столетия необходимость решения возникающих в области реакторостроения задач способствовала проведению активных исследований в области сварки давлением и разработке теоретических основ сварки в твердой фазе. Благодаря этому появились такие способы сварки как взрывом, трением, ультразвуковая, диффузионная, клинопрессовая, ударная совместным прессованием и др. За более чем шесть десятилетий, прошедших с того времени, в мире накоплен огромный опыт промышленного применения этих способов.

Авторами предпринята попытка описать вклад сварки давлением в общий объем производства сварных узлов на примере нескольких разработок, выполненных в АО «НИКИЭТ» в разные периоды времени, показать возможности некоторых из этих способов, а также оценить перспективы ее дальнейшего применения.

Как отмечено в /1/ «способами сварки в твердой фазе можно соединять практически любые металлические сплавы в однородном и разнородном сочетаниях, металлы с полупроводниками и керамиками, пластмассы и т. д.», что отвечало возникающим запросам атомной отрасли. Что касается жаропрочных аустенитных сталей и сплавов, то еще в семидесятые годы автор работы /2/ пришел к выводу о том, что «будущее не за сваркой плавлением».

Сферу применения и объемы производства сварных узлов сваркой давлением определил целый ряд объективных причин. Так при изготовлении оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок допущен к применению только один способ сварки давлением и только для одного сочетания свариваемых металлов – диффузионная сварка соединений стальных и циркониевых труб /3/.

Объем работ, выполняемых в атомной отрасли сваркой плавлением, значительно превосходит объем работ, выполняемых с использованием сварки давлением. Тем не менее благодаря присущим им преимуществам способы сварки давлением занимают важное место в производстве сварных узлов.

Прежде всего это соединение разнородных металлов, которые образуют интерметаллические соединения и трудносвариваемые (или даже несвариваемые) жаропрочные стали и сплавы.

Образование интерметаллидов в соединениях таких пар разнородных металлов как сталь-алюминий, сталь-цирконий, сталь-титан при сварке давлением проявляется не так критично, как при сварке плавлением. Однако равнопрочность основному (менее прочному) металлу в таких соединениях при сварке давлением обеспечить не удастся. По этой причине поверхность соединения делают больше, чем площадь поперечного сечения свариваемых деталей, что обеспечивает их работоспособность.

Необходимость в соединении стали с цирконием (рис. 1) появилась в частности при создании технологического канала реактора РБМК /4/. Изготовление переходников сталь марки 08X18H10T – циркониевый сплав марки Э110 для соединения центральной (циркониевой) части канала с его концевыми участками (стальными) в течении многих лет осуществляется диффузионной сваркой на Чепецком механическом заводе (г. Глазов). В конструкции соединения реализовано механическое подкрепление за счет предварительно выполненных на свариваемых поверхностях с развитой площадью стальной заготовки кольцевых канавок, которые в процессе приложения сварочного усилия заполняются металлом циркониевой заготовки. Такая конструкция соединения позволяет повысить надежность канала с позиций концепции «течь перед разрушением» и компенсировать неравнопрочность сварного соединения основному металлу. По этой технологии изготовлено несколько тысяч каналов. Этот пример является яркой иллюстрацией успешного применения сварки давлением в реакторостроении.

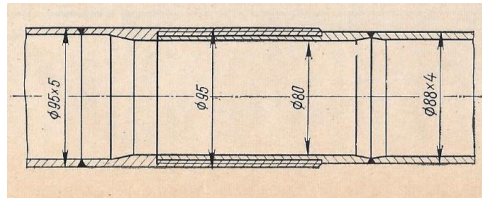


Рис.1. Соединение сталь-цирконий /4/

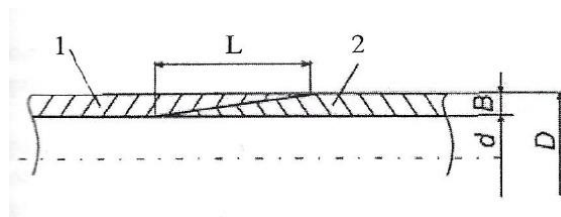
Следующий пример имеет отношение к соединению стали марки 12Х18Н10Т с алюминиевым сплавом марки АД-1 для привода автоматического и ручного регулирования системы управления защитой (СУЗ) реакторов РБМК. Первоначально для соединения алюминиевой оболочки кабеля со стальным корпусом электрического разъема в 80-е годы в НИКИЭТ была отработана технология электронно-лучевой сваркопайки сталеалюминевых переходников с соединением внахлест. Предварительно на стальную деталь методом термического испарения и конденсации было необходимо нанести алюминиевое покрытие. Технология была внедрена и в течении ряда лет успешно применялась на заводе «Большевик» (впоследствии «Завод Обуховской обороны»). Данная технология вполне отвечала предъявляемым требованиям с точки зрения обеспечения надежности работы привода СУЗ. Однако со временем возникла потребность в более простом способе, обеспечивающем большую производительность.

В 90-е годы была отработана и внедрена клинопрессовая сварка /5/, не требующая нанесения покрытия. Электрический разъем с приваренным к нему сталеалюминиевым переходником, полученным клинопрессовой сваркой (соединение «вскос») показан на рис. 2. Технология применяется до настоящего времени. Общее количество переходников исчисляется несколькими сотнями. Данный пример отражает ситуацию, когда применение сварки давлением по сравнению с процессом, связанным с плавлением, позволило упростить технологию и добиться повышения производительности изготовления продукции.



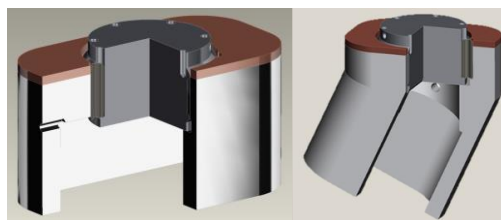
Рис.2 Электрический разъем со сталеалюминиевым переходником

К этому же периоду времени относится отработанная НИКИЭТ и ВИАМ технологии изготовления сталетитановых переходников методом совместного прессования (рис. 3.). Соединение «вскос», образующееся в результате совместной пластической деформации свариваемых деталей, характеризуется большим значением отношения протяженности зоны соединения (L) к толщине стенки переходника (B) /6/. Это обеспечивает необходимые эксплуатационные показатели при том, что временное сопротивление сварного соединения существенно меньше, чем у основного металла (стальной части переходника).



*Рис. 3. Зона сварного соединения переходника сталь-титан / 6 /:
1 – сталь; 2 – титан*

Биметаллические узлы бронза марки CuCrZr – сталь марки SS316L, показанные на рис. 4, предназначены для обеспечения механического и электрического контактов электросоединителей модулей blankets с вакуумной камерой ИТЭР /7/. Технология изготовления этих узлов, основанная на диффузионной сварке, осуществляемой в условиях горячего изостатического прессования (газостатическая диффузионная сварка – ГДС) создана НИКИЭТ в сотрудничестве с АО «Композит». В период с 2019 по 2021 г. для Международной организации ИТЭР изготовлена поставочная партия узлов в количестве 1056 шт.



*Рис.4. Биметаллические узлы бронза-сталь /7/:
а – стандартный, б – наклонный*

Разработка технологии изготовления днища с патрубками из жаропрочного никелевого сплава марки ХН55МВЦ также выполнена в последнее время. Попытка применения сварки плавлением (аргонодуговая и электронно-лучевая) ввиду ограниченной свариваемости сплава не увенчалась успехом. По этой причине была применена ГДС /8, 9/. Процесс осуществляли в АО «Композит». Габаритно-подобный макет, изготовленный по /10/, показан на рис. 5.



Рис. 5. Габаритно-подобный макет днища с патрубками

Как уже отмечалось выше, сфера применения сварки давлением действующими нормативными документами в области реакторостроения весьма ограничена. Однако в данном случае вопрос ставится ни много ни мало об изготовлении элемента корпуса реактора. Из этого можно сделать вывод, что тенденции развития атомной техники порождают ситуации, когда возникает необходимость пересмотра устоявшихся подходов. Этому будут способствовать достижения в области неразрушающего контроля сварных соединений.

Возможно не случайно, что в двух из пяти приведенных примерах описано применение ГДС. Представляется, что по причине определенных преимуществ этого способа сварки объемы его применения будут возрастать. Некоторые соображения относительно перспектив расширения сфер применения ГДС в разработках АО «НИКИЭТ» изложены в /11/.

Разумеется, приведенные примеры лишь в малой степени отражают разнообразие способов сварки давлением, применяемых в реакторостроении и, тем более, не дают сколько ни будь полного представления о многообразии изготавливаемой с применением сварки в твердой фазе продукции.

Подводя итог, можно заключить, что сварка давлением занимает важное место среди технологических процессов, применяемых при изготовлении объектов атомной отрасли. При этом можно не сомневаться, что с учетом направленности новых разработок и благодаря непрерывному поиску путей повышения качества сварных соединений роль сварки давлением в реакторостроении будет возрастать.

Список литературы

1. Сварка в машиностроении. Справочник в 4 томах под ред. Н.А. Ольшанского. М.: Издательство «Машиностроение», 1978, т.1, с. 351.
2. *Б.И. Медовар* Сварка жаропрочных аустенитных сталей и сплавов // М.: Издательство «Машиностроение», 1966.
3. «Сварка и наплавка оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок». Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии (НП-104-18).
4. *Доллежалъ Н.А., Емельянов И.Я.* Канальный ядерный энергетический реактор. – М.: Атомиздат, 1980. – 208 с.
5. Новая технология изготовления сталеалюминиевых переходников для привода исполнительного механизма системы управления защитой реакторов РБМК. / *Фролов Н.Г., Ёлкин В.Н., Факеев П.И, Онищенко С.В. и Иванов В.М.*// НИКИЭТ. Годовой отчет, 2002 г. С.194–195.
6. Сварка совместным прессованием сталетитановых переходников для реакторных устройств. / *Фролов Н.Г., Онищенко С.В., Иванов В.М., Ёлкин В.Н. и др.* // НИКИЭТ. Годовой отчет, 2001 г. С.175–176.
7. Изготовление биметаллического соединения CuCrZr-316L1 для пьедесталов электросоединителей бланкета ИТЭР/ *С.Э. Хомяков, Д.А. Митин, М.Н. Свириденко и др.* /НИКИЭТ. Годовой отчет, 2018, 34–38.
8. Диффузионная сварка сплава марки ХН55МВЦ методом горячего изостатического прессования /*В.Н. Ёлкин, Г.А. Комарова, А.А. Чернова и др.*//НИКИЭТ. Годовой отчет, 2016, с.212–213.
9. Сварной макет узла корпуса реактора /*Ю.Г. Драгунов, С.В. Европин, В.Н. Ёлкин, С.Ю. Кириллов и др.* //НИКИЭТ. Годовой отчет, 2019, с.203.
10. Способ соединения сваркой патрубков с днищем реактора. Патент на изобретение № 2740128. Приоритет от 2020 г.
11. *Ёлкин В.Н.* Газостатическая диффузионная сварка в разработках АО «НИКИЭТ» // Доллежалевские чтения. V–VI циклы [Электронный ресурс]. М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2022. – С. 7–35. – 1 CD-R.