

**И. К. ЧЕРНЫХ
Е. В. ВАСИЛЬЕВ
Е. И. ТКАЧЕНКО
А. С. ЛУКИН
Д. А. ПРОШУТИНСКИЙ
В. А. ВАЛОВА
Е. А. САВВА**

Омский государственный
технический университет,
г. Омск

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ СВАРНОГО ШВА ПРИ СВАРКЕ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ

Титановые сплавы широко применяются в таких отраслях, как судостроение, авиастроение, ракетостроение и т.д. Сварка трением с перемешиванием титановых сплавов является перспективным методом изготовления конструкций изделий данных отраслей. В процессе сварки температура может достигать 1200 °С, при этом происходит активный процесс окисления, что приводит к дефектообразованию. Для исключения образования дефектов необходимо применять специальные приспособления, предназначенные для газовой защиты сварного шва. Конструкции существующих приспособлений для более распространенных методов сварки не предусмотрены для использования при сварке трением с перемешиванием. Целью исследования является разработка оптимальной конструкции приспособления для подачи защитного газа при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов. Были проведены эксперименты по сварке титановых сплавов с использованием разработанного приспособления. В результате эксперимента были получены качественные сварные швы с отсутствием следов окисления.

Ключевые слова: сварка трением с перемешиванием, фрикционная сварка, сварка титановых сплавов, сварка в среде защитных газов.

Титан широко применяется в различных отраслях промышленности, таких как: авиастроение, ракетостроение, судостроение и др. Благодаря сочетанию таких преимуществ, как низкая плотность и высокая прочность, из титановых сплавов изготавливают тяжелонагруженные детали, например: элементы шасси, втулки, пружины и т.д. Основными марками титановых сплавов являются сплавы — ОТ4, ВТ6, ВТ16. Наиболее распространенной зарубежной маркой является Ti-6Al-4V [1], аналог отечественного деформируемого сплава ВТ6 и литейного ВТ6Л.

Сварка титановых сплавов осуществляется чаще всего следующими методами: дуговой сваркой, контактной сваркой, электрошлаковой сваркой, плазменной сваркой, сваркой трением, диффузионной и электронно-лучевой сваркой. При диффузионной сварке титановых сплавов температура в зоне сварки достигает более 550 °С градусов [2], при других методах сварки для качественного соединения требуется температура 550 °С и выше. Химическая активность титана и его сплавов с увеличением температуры значительно возрастает,

в частности: происходит растворение кислорода, водорода, азота в металле, а также образование фаз, которые снижают прочность металла. Поэтому при сварке титана применяется газовая защита сварного шва. Наиболее качественным способом защиты является камера или помещение с инертной атмосферой или вакуумом, однако даже с разрежением 10–4 мм рт. ст. парциальное давление остаточного кислорода и азота не исключает возможность окисления [3]. Существуют также другие методы защиты шва: использование флюса, подача защитного газа через горелку, струйная местная защита. Защитными газовыми средами являются инертные газы (аргон, гелий), активные газы (азот и углекислый газ) и их смеси.

Сварка трением с перемешиванием [4] является одной из разновидностей сварки давлением. От других видов сварки давлением данный метод отличается способом нагрева металла, а именно: нагрев свариваемых деталей происходит благодаря работе сил трения и деформации. Соединение металлических элементов при сварке трением с перемешиванием осуществляется при помощи

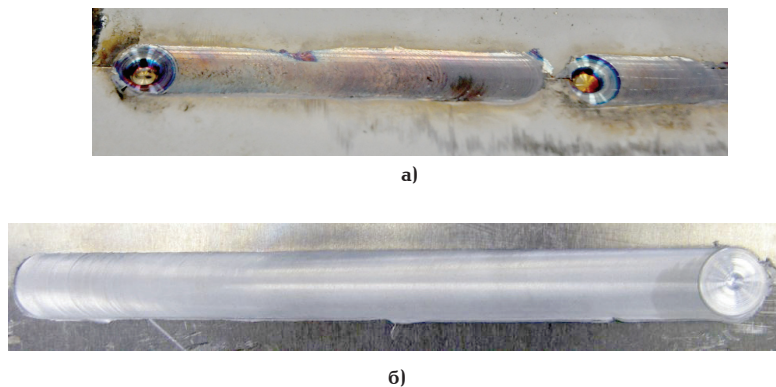


Рис. 1. Сварные швы, полученные методом сварки трением с перемешиванием: а — пластины из стали 12Х18Н10Т; б — пластины из алюминиевого сплава АМГ6



Рис. 2. Образец, полученный с использованием струйной подачи защитного газа [10]

воздействия специального вращающегося инструмента на кромки плотно прижатых друг к другу деталей. СТП позволяет получать качественные сварные швы большинства сплавов без использования защитных газов. Кроме того, данный метод сварки обладает рядом достоинств: не требуется применение присадочной проволоки, флюса, металл не нагревается до температуры плавления, сварка осуществляется в полуавтоматическом либо автоматическом режиме и др. Ранее были получены сварные швы алюминиевого сплава АМГ6 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т без применения защитного газа [5, 6]. Полученные швы представлены на рис. 1. На лицевой поверхности сварного шва пластин из нержавеющей стали 12Х18Н10Т наблюдаются цвета побежалости, свидетельствующие об окислении металла. Как известно, наличие цветов побежалости не является дефектом, снижающим прочность шва, однако данный дефект необходимо также исключить.

Известно, что при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов температура может достигать 1100 °С [7]. Для предотвращения окисления сварного шва и снижения его прочности необходимо осуществлять подачу защитного газа в зону сварки.

Поскольку активное исследование СТП титановых сплавов началось в 2010-е годы, а большинство станков для СТП были изготовлены ранее или в начале 2010-х годов (когда исследовалась в основном сварка алюминиевых сплавов), устройства для подачи защитного газа в зону сварки установлены только на современных станках. Однако это не означает, что сварку титановых сплавов невозможно осуществлять на оборудовании, изготовленном ранее. Для образования сварного соединения титановых сплавов с использованием защитного газа предлагается использовать приспособление, расши-

ряющее технологические возможности станка. При этом приспособление должно удовлетворять ряду требований, в частности: обеспечить подачу газа напрямую в зону сварки; приспособление должно надежно закрепляться на станке и не оказывать негативное воздействие на процесс сварки; приспособление должно быть спроектировано таким образом, чтобы был исключен контакт его с заготовками и оснасткой; приспособление должно минимизировать смешивание защитного газа с воздухом.

Целью исследования является определение оптимальной конструкции приспособления для подачи защитного газа при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов и сталей.

В работах зарубежных исследователей [8, 9] были проведены эксперименты по сварке титановых сплавов марки Ti-6Al-4V с использованием защитного газа. В результате исследования [8] были получены бездефектные сварные соединения. В данных экспериментах использовались приспособления, состоящие из корпуса, установленного на невращающейся части шпинделя, канала для циркуляции и подачи защитного газа, и охлаждающей рубашки, предназначенной для отвода тепла от инструмента.

Для нахождения оптимальной конструкции приспособления для подачи защитного газа была проведена серия экспериментов. Эксперименты можно разделить на три этапа. В первом этапе использовался метод струйной защиты газа. Во втором этапе использовался четырехструйный метод подачи газа с использованием приспособления первой конструкции. В третьем этапе использовался метод создания локальной камеры защитного газа при помощи приспособления второй конструкции.

Образцы титанового сплава марки ОТ4 толщиной 1,8 мм были установлены встык на исследовательской установке для сварки трением

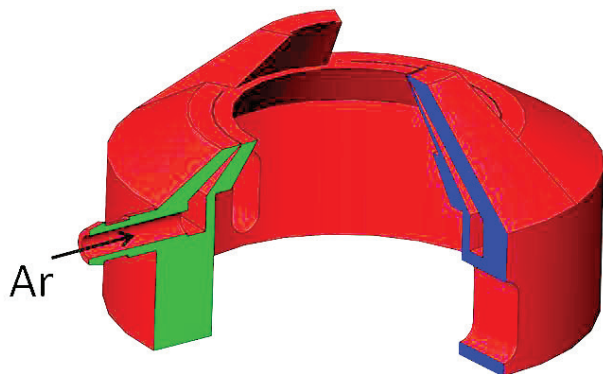


Рис. 3. Приспособление для подачи защитного газа в зону сварки



Рис. 4. Установка для сварки трением с перемешиванием титановых сплавов с приспособлением для подачи защитного газа

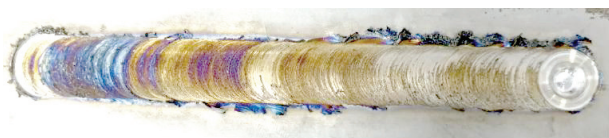


Рис. 5. Образец, полученный с использованием приспособления, представленного на рис. 3

с перемешиванием. Угол наклона инструмента при сварке составил 2° , частота вращения инструмента составила 630 об/мин, подача 100 мм/мин. Температура во время сварки находилась в диапазоне $700\text{--}800^\circ\text{C}$. Полученный сварной шов показан на рис. 2 [10]. Данный образец, изготовленный с использованием струйной подачи защитного газа, имеет непровар по всей длине шва, что свидетельствует о недостаточной газовой защите.

Для обеспечения качественной защиты зоны сварки было разработано приспособление, представленное на рис. 3. Оно спроектировано таким образом, чтобы обеспечить всестороннюю газовую защиту при сварке деталей различной толщины для стыкового, углового, нахлесточного и таврового соединения. Сопло устанавливается на невращающуюся часть шпинделя и фиксируется двумя винтами. Подвод газа осуществляется через штуцер, расположенный на боковой поверхности корпуса. В теле корпуса выполнен канал для циркуляции, связанный с четырьмя направляющими выходными

каналами, которые обеспечивают подвод газа непосредственно по направлению к торцу инструмента.

Установка для проведения исследований с разработанным приспособлением представлена на рис. 4.

Данная конструкция удовлетворяет всем необходимым требованиям, а именно: осуществление подвода газа в зону сварки; защитный газ не смешивается с воздухом внутри сопла; подвод газа осуществляется с боковой стороны, а шланг подачи газа не контактирует с оснасткой; в процессе движения шпинделя с соплом вдоль стыка исключён контакт с оснасткой для закрепления деталей благодаря обнижениям, выполненным на боковых сторонах сопла.

Приспособление работает следующим образом: первоначально длина вылета инструмента для сварки устанавливается таким образом, чтобы оси направляющих выходных каналов пересекались на торце инструмента (± 5 мм). Далее сопло устанавливается на невращающуюся часть шпинделя и фиксируется крепежными изделиями через отверстия, выполненные в виде пазов. После установки сопла, перед началом сварки, включают подачу защитного газа. Газ, проходя через штуцер, попадает в канал для циркуляции и выходит через направляющие выходные отверстия, образуя четыре газовых потока, направленных в зону сварки. Производят сварку. По окончании сварки прекращают подачу защитного газа.

Приспособление было испытано при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов марки ВТ6. Частота вращения инструмента составила 1250 об/мин, подача 80 мм/мин. Остальные технологические режимы аналогичны режимам при сварке упомянутого ранее образца. Температура во время сварки составила $800\text{--}1000^\circ\text{C}$. Полученный сварной шов представлен на рис. 5. На лицевой поверхности левой части образца наблюдаются цвета побежалости, в то время как на правой стороне они отсутствуют. Данный факт объясняется различием в расходе защитного газа — слева меньше, справа — максимальный расход. Было исследовано качество шва, в некоторых участках обнаружены микропоры размером до 15 мкм. Дефекты в виде непроваров и каналов отсутствуют.

Достоинство данной конструкции в том, что она удовлетворяет перечисленным выше требованиям, и, кроме того, может быть изготовлена при помощи аддитивных технологий из полиамидов (или металлического порошка), что делает её значительно более дешёвой в изготовлении по сравнению с аналогичными приспособлениями, изготавливаемыми при помощи металлообработки за несколько операций.

Недостатком конструкции является невозможность обеспечения качественной защиты шва при малом расходе защитного газа. При малой скорости подачи газа также происходит значительное смешивание последнего с атмосферой в области сварки, что может снизить качество шва.

Известно, что наиболее благоприятная схема защиты сварного шва от окисления — создание защитной камеры. Для того, чтобы обеспечить качественную защиту шва с минимальными затратами и без создания помещения, заполненного защитным газом, было разработано приспособление, имитирующее защитную камеру. Разработка представлена на рис. 6. Приспособление может быть использовано при сварке трением с перемешиванием титановых сплавов и сталей различных марок

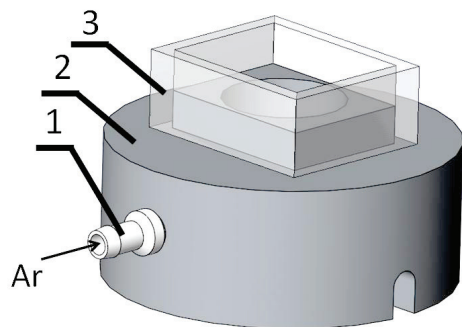


Рис. 6. Приспособление для создания защитной среды в зоне сварки трением с перемешиванием: 1 — штуцер; 2 — держатель; 3 — камера



Рис. 7. Сварной шов сплава ВТ-1-0, полученный с использованием улучшенной конструкции приспособления для подачи защитного газа

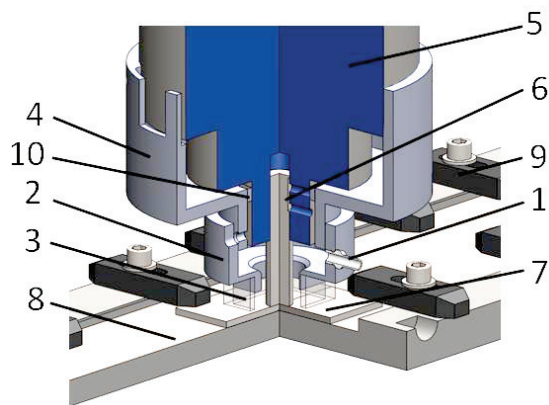


Рис. 8. Схема установки приспособления на шпиндель станка для сварки трением с перемешиванием: 1 — штуцер; 2 — держатель; 3 — камера; 4 — корпус; 5 — шпиндель; 6 — инструмент для сварки; 7 — свариваемые детали; 8 — подложка; 9 — оснастка для закрепления деталей; 10 — уплотнитель

и обеспечивает полную газовую защиту сварного шва, формируя вокруг инструмента область, полностью заполненную защитным газом. Конструкция приспособления позволяет получать сварные швы без окисления даже при низких значениях расхода защитного газа. Полученное с использованием

данного сопла сварное соединение титанового сплава марки ВТ-1-0 представлено на рис. 7. Цвета побежалости на лицевой стороне образца, в отличие от предыдущего, отсутствуют полностью, что позволяет сделать вывод о том, что приспособление обеспечивает качественную защиту сварного шва. Схема установки приспособления на шпиндель станка представлена на рис. 8.

Данная конструкция обладает всеми достоинствами предыдущей, но позволяет обеспечить полную защиту сварного шва от окисления за счёт создания защитной камеры. К недостаткам конструкции можно отнести дороговизну изготовления по сравнению с предыдущей конструкцией. Тем не менее приспособление не имеет трудновыполнимых в изготовлении элементов и может быть изготовлено при помощи механической обработки на универсальных токарных и фрезерных станках. Оно имеет в своём составе камеру (поз. 3, рис. 8), которая изготавливается из оргстекла и позволяет осуществлять наблюдение за процессом сварки. Камеры изготавливаются сменными и могут быть настроены по длине для любой длины вылета инструмента, что также является одним из достоинств данной конструкции.

Библиографический список

1. Singh P., Pungotra H., Kalsi N. S. On the characteristics of titanium alloys for the aircraft applications // *Materials Today: Proceedings*. 2017. Vol. 4 (8). P. 8971–8982. DOI: 10.1016/j.matpr.2017.07.249.
2. Кудрявцев Е. А., Лопатин Н. В., Салищев Г. А. [и др.]. Влияние размера зерна на режимы диффузионной сварки наноструктурных листов из сплава ВТ6 // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер. Математика. Физика*. 2012. № 17 (136). Вып. 28. С. 232–234.
3. Васильев К. В., Виль В. И., Волоченко В. Н., Ерохин А. А. [и др.]. *Сварка в машиностроении: справ. в 4 т. / под общ. ред. Н. А. Ольшанского*. М.: Машиностроение, 1978. Т. 1. 527 с.
4. Thomas W. M., Nicholas E. D., Needham J. C. [et al.]. *Friction Welding*. US patent 5460317; filed Nov. 27th, 1992; published Oct. 24th, 1995.
5. Черных И. К., Васильев Е. В., Дыльченко Р. В., Жданова Ю. Е., Игисенов Б. К. Особенности сварки разнородных металлов методом сварки трением с перемешиванием // *Омский научный вестник*. 2019. № 1 (163). С. 21–25. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-163-21-25.
6. Черных И. В., Кривонос Е. В. [и др.]. Исследование процесса сварки трением с перемешиванием пластин из алюминиевого сплава АМГ6 // *Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы XI Всерос. науч. конф., посвящ. памяти главного конструктора ПО «Полёт» А. С. Клинышкова*. 2017. С. 126–134.
7. Mironov S., Sato Y. S., Kokawa H. Friction-stir welding and processing of Ti-6Al-4V titanium alloy: A review // *Journal of Materials Science & Technology*. 2018. Vol. 34. P. 58–72. DOI: 10.1016/j.jmst.2017.10.018.
8. Zhou L., Liu H. J., Liu Q. W. Effect of rotation speed on microstructure and mechanical properties of Ti-6Al-4V friction stir welded joints // *Materials and Design*. 2010. Vol. 31. P. 2631–2636. DOI: 10.1016/j.matdes.2009.12.014.
9. Fall A., Jahazi M., Khadabandeh A. R. [et al.]. Effect of process parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir-welded Ti-6Al-4V joints // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017. Vol. 91. P. 2919–2931. DOI: 10.1007/s00170-016-9527-y.
10. Черных И. В., Васильев Е. В. [и др.]. Получение сварного соединения пластин из титановых сплавов методом свар-

ки трением с перемешиванием // Динамика систем, механизмов и машин. 2018. Т. 6, № 1. С. 198–207.

ЧЕРНЫХ Иван Константинович, ассистент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

SPIN-код: 2858-5441

ORCID: 0000-0003-1239-5647

AuthorID (SCOPUS): 57200720534

ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Металлорежущие станки и инструменты».

SPIN-код: 6546-3741

ORCID: 0000-0001-5986-8873

AuthorID (SCOPUS): 56503710300

ResearcherID: L-8864-2014

ТКАЧЕНКО Екатерина Игоревна, студентка гр. КТО-171 машиностроительного института.

ЛУКИН Андрей Сергеевич, студент гр. КТО-171 машиностроительного института.

ПРОШУТИНСКИЙ Даниил Александрович, студент гр. КТО-171 машиностроительного института.

ВАЛОВА Вероника Александровна, студентка гр. КТО-163 машиностроительного института.

САВВА Елизавета Андреевна, магистрант гр. ЭТМм-191, факультет элитного образования и магистратуры. Адрес для переписки: vnchrnk@gmail.com

Для цитирования

Черных И. К., Васильев Е. В., Ткаченко Е. И., Лукин А. С., Прошутинский Д. А., Валова В. А., Савва Е. А. Разработка приспособления для газовой защиты сварного шва при сварке трением с перемешиванием // Омский научный вестник. 2019. № 5 (167). С. 34–38. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-167-34-38.

Статья поступила в редакцию 06.09.2019 г.

© И. К. Черных, Е. В. Васильев, Е. И. Ткаченко, А. С. Лукин, Д. А. Прошутинский, В. А. Валова, Е. А. Савва