

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.791

doi: 10.30987/2782-5957-2026-5-12-21

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОЗДАНИЯ КОРНЕВОГО ВАЛИКА ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Александр Николаевич Блудов^{1✉}, Денис Александрович Харламов²

¹ Национальный исследовательский технологический университет (филиал «МИСИС»), Белгородская область, Губкин, Россия

² Губкинский филиал Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова, Губкин, Россия

¹ bik029@mail.ru

² docktn@bk.ru

Аннотация

Настоящая работа посвящена аспектам комбинированной сварки толстостенных корпусов химических аппаратов. Одним из наиболее трудоёмких этапов, осложнённых требованием предварительного подогрева, является выполнение корневого шва сварщиком внутри замкнутого объёма. Для устранения этой проблемы в обзоре рассмотрены

перспективные технологические подходы. Их принципиальное отличие — исключение операции сварки корня с обратной стороны соединения, что позволяет существенно оптимизировать и обезопасить условия труда.

Ключевые слова: технология, сварка, флюс, слой, шов, подогрев, подкладка, стыки, соединения.

Ссылка для цитирования:

Блудов А.Н. Анализ методов создания корневого валика для обеспечения герметичности сварных соединений химического оборудования / А.Н. Блудов, Д.А. Харламов // Транспортное машиностроение. – 2026. - № 5. – С. 12-21. doi: 10.30987/2782-5957-2026-5-12-21.

Original article

Open Access Article

ANALYSIS OF METHODS FOR MAKING A ROOT BEAD TO ENSURE LEAK PROOFNESS OF CHEMICAL EQUIPMENT WELDED JOINTS

Aleksandr Nikolaevich Bludov^{1✉}, Denis Aleksandrovich Kharlamov²

¹ National University of Science and Technology (MISIS branch), Belgorod Region, Belgorod. Gubkin, Russia

² Gubkin Branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Gubkin, Russia

¹ bik029@mail.ru

² docktn@bk.ru

Abstract

This paper is devoted to aspects of combined welding of thick-walled cases of chemical equipment. One of the most labor-intensive stages, complicated by the requirement of preheating, is making of the root bead by a welder inside the closed space. To eliminate this problem, promising technological approaches are

reviewed. Their fundamental difference is the exclusion of the root welding operation from the reverse side of the joint, which makes it possible to significantly optimize and secure working conditions.

Keywords: technology, welding, flux, layer, seam, heating, backing, joints.

Reference for citing:

Bludov AN, Kharlamov DA. Analysis of methods for making a root bead to ensure leak proofness of chemical equipment welded joints. Transport Engineering. 2026;5:12-21. doi: 10.30987/2782-5957-2026-5-12-21.

Введение

Химические аппараты представляют собой класс инженерных сооружений, функциональное назначение которых заключается не только в хранении и транспортировке реагентов, но и в обеспечении протекания широкого спектра физико-химических процессов: от теплообмена (испарение, конденсация) до сложных химических синтезов [5, 2]. Конструктивные решения и выбор материалов для таких аппаратов являются критически важными и детерминируются совокупностью эксплуатационных факторов, среди которых доминируют агрессивность технологической среды, рабочие температуры и давления. В силу указанных требований, номенклатура применяемых материалов чаще всего ограничивается высоколегированными сталями и специализированными сплавами, используемыми в виде средних и больших толщин проката. Данный факт противоречив. С одной стороны, массивность конструкций объективно диктует необходимость внедрения высокопроизводительных методов сварки, таких как механизированная сварка плавящимся электродом в среде защитных газов (*MAG/MIG*), автоматическая сварка под флюсом или электрошлаковая сварка. С другой стороны, сами применяемые материалы, относящиеся к группам ограниченной и трудной свариваемости, выдвигают императивное требование к применению предварительного и сопутствующего подогрева, а также последующей термообработки для снятия остаточных напряжений

Методики и технологические подходы к формированию корневого (первого) слоя сварного соединения

Основные физические принципы и технологические основы метода заключаются в стратегическом использовании при многослойной наплавке материалов с дифференцированными механическими свойствами. Первые, корневые валики, выполняются не высокопрочным, а более пластичным и вязким сварочным материалом, для обеспечения лучшей деформации и компенсации напряжений при последующей сварке прочными материалами. По-

и управления структурой металла зоны термического влияния.

Введу выше сказанного, возникает ключевая технологическая проблема, интенсивный теплоотвод от зоны сварки в предварительно подогретую массивную заготовку создает условия для быстрой диссипации тепла, что требует значительного увеличения погонной энергии сварки для поддержания сварочной ванны, что, в свою очередь, провоцирует неконтролируемый разогрев внутреннего объема аппарата. Ситуация кардинально усугубляется при необходимости выполнения корневого (первого) прохода сварного соединения, который зачастую выполняется ручной дуговой сваркой (*MMA*) внутри замкнутого аппарата. Работа сварщика в таких условиях сопряжена с экстремальными температурными нагрузками и представляет серьезный риск для здоровья, а также ставит под угрозу качество формируемого шва.

Таким образом, ключевая цель данной работы заключается в детальном анализе и последующем сравнении современных способов формирования корневого слоя в сварных швах толстолистовых химических аппаратов. Этот анализ подчинен решению практической задачи: идентификации тех методов, которые способны генерировать синергию нескольких критически важных факторов. К ним относятся: рост производительности труда, гарантированное качество и полная герметичность соединения, а также обеспечение безопасных и приемлемых условий для работы сварного персонала.

следующие же слои наплавляются материалом, механические свойства которого согласованы с основным металлом конструкции (рис. 1а) [3].

Альтернативной модификацией данной технологии является формирование подобных пластичных прослоек не только в корне, но и на промежуточных стадиях заполнения разделки, создавая своеобразные буферные зоны, локализирующие напряжения (рис. 1б).

Ключевое технологическое преимущество данного метода заключается в возможности полного отказа от процедуры предварительного подогрева массивной конструкции, так пластичный буферный слой успешно аккумулирует сварочные напряжения, предотвращая образование холодных трещин.

Однако следует отметить, что данная методика вносит определенную сложность

в технологическую подготовку производства, требуя тщательного расчета режимов и подбора материалов. В связи с этим, ее применение является наиболее обоснованным и экономически целесообразным при сварке изделий из высокоуглеродистых и высоколегированных сталей, склонных к закалке и образованию трещин в зоне термического влияния.

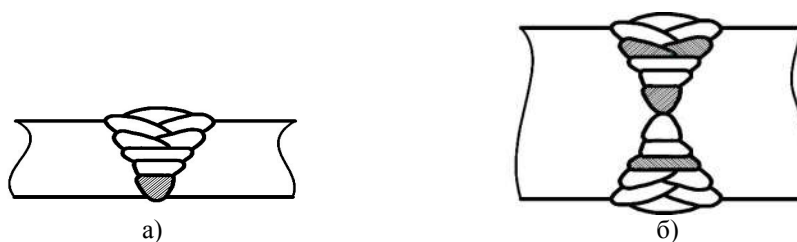


Рис. 1. Технология сварки пластичными прослойками:
а – поэтапное формирование шва (наплавка валиков); б – сплошное заполнение разделки
*Fig. 1. Technology of welding with plastic layers:
a – step-by-step formation of the seam (welding of rolls); b – continuous filling of the groove*

К следующей стратегии, подлежащей тщательному рассмотрению, относится односторонняя сварка стыков с использованием подкладных элементов [1]. Этот метод широко применяется в современных производственных процессах. Фундаментальный принцип данного метода заключается в том, что с обратной стороны свариваемых кромок устанавливается специальное устройство-подкладка, которое выполняет комплекс критически важных функций: оно предотвращает вытекание расплавленного металла сварочной ванны (предотвращая тем самым образование прожога), обеспечивает газовую защиту или формирование шлаковой ванны с обратной стороны шва, и в конечном счете, гарантирует качественное формирование корневой части шва с требуемой геометрией. В современной промышленности нашли применение несколько конструктивных разновидностей подкладок, каждая из которых обладает специфическими эксплуатационными и технологическими характеристиками.

Остающаяся стальная подкладка (рис. 2) изготавливается из материала, химический состав которого идентичен или близок к составу свариваемых деталей. После завершения процесса сварки под-

кладка не демонтируется, становясь интегральной частью готового изделия. Это простое и надежное решение, однако, оно имеет существенный недостаток — наличие остающейся подкладки создает концентратор напряжений в зоне стыка, а также может способствовать возникновению коррозионных процессов в зазоре между основной деталью и подкладкой.

Съемная медная или керамическая подкладка, в отличие от остающейся, такая подкладка после выполнения сварочных работ подлежит демонтажу. Медные подкладки обладают высокой теплопроводностью, что обеспечивает интенсивный отвод тепла от зоны сварки и препятствует прожогу. Керамические подкладки, в свою очередь, характеризуются высокой термостойкостью и инертностью по отношению к расплавленному металлу.

Медно-флюсовая подушка (рис. 3) представляет собой комбинированное устройство, состоящее из медной основы, выполняющей функцию теплоотвода и формообразования (канавка в меди придает обратной стороне шва треугольный профиль), и тонкого слоя флюса, нанесенного на рабочую поверхность. Флюс обеспечивает шлаковую защиту обратной стороны сварочной ванны, рафинируя металл

и улучшая качество формируемого шва. Критически важным условием для получения качественного соединения является плотное прижатие флюсового слоя к свариваемым кромкам, что исключает подтекание металла. Преимуществом данного метода является его устойчивость к незначительным колебаниям зазора между кромками. Область применения ограничена случаями, когда существует техническая возможность установки такой подушки с обратной стороны стыка до начала сварки и ее последующего извлечения.



Рис. 2. Сварка на остающейся подкладке
Fig. 2. Welding on the remaining lining

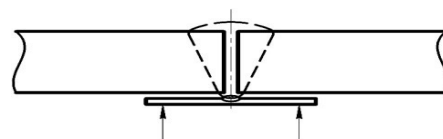


Рис. 3. Сварка на медно-флюсовой подкладке
Fig. 3. Welding on a copper-flux lining

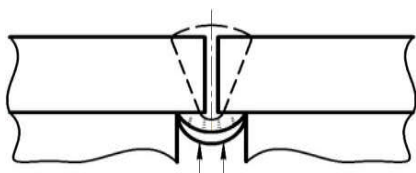


Рис. 4. Сварка на флюсовой подушке
Fig. 4. Flux-cored welding



Рис. 5. Сварка в замкнутом соединении
Fig. 5. Welding in a lock joint

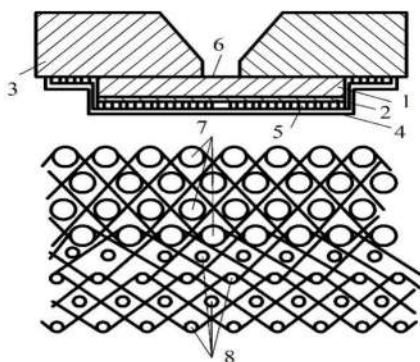


Рис. 6. Схема устройства и расположения подкладной ленты (с расшифровкой позиций):

1 – формирующий слой; 2 – тугоплавкий защитный слой; 3 – основной металл конструкции; 4 – монтажная фольга; 5 – клеевой слой на фольге; 6 – формообразующая поверхность для обратного валика; 7 – нитевая основа формирующего слоя; 8 – нитевая основа тугоплавкого слоя

Fig. 6. Diagram of the device and arrangement of the backing tape (with the positions explained):

1 – forming layer; 2 – refractory protective layer; 3 – main metal of the structure; 4 – mounting foil; 5 – adhesive layer on the foil; 6 – forming surface for the reverse roller; 7 – filament base of the forming layer; 8 – filament base of the refractory layer

Флюсовая подушка (рис. 4), как вариант удержания металла и формирования обратной стороны шва осуществляется исключительно за счет сыпучего флюса, который удерживается в специальном приспособлении магнитной или механической подушке. Этот метод также эффективно предотвращает прожоги и не провары. Как и в случае с медно-флюсовой подушкой, гарантией качества является плотное прилегание флюсовой массы к кромкам по всей длине стыка.

Отдельного рассмотрения заслуживает метод, основанный не на применении внешних устройств, а на специальной геометрической подготовке кромок – замковое соединение (рис. 5). В данном случае сами свариваемые кромки имеют специальный профиль (например, типа ласточкин хвост), который механически препятствует вытеканию металла, тем самым эффективно предотвращая образование прожогов.

Однако, данный метод обладает рядом существенных ограничений. Во-первых, он не гарантирует полного провара по всей глубине замка, так как контроль над формированием корня шва визуально затруднен. Он также предъявляет повышенные требования к точности механической обработки стыкуемых кромок, так как даже незначительные отклонения в геометрии приведут к некачественному соединению.

Процесс подготовки кромок является более трудоемким и дорогостоящим по

сравнению с подготовкой под сварку на подкладках.

Одним из наиболее прогрессивных методов, позволяющих добиться высшего качества корневого шва, является технология с применением многофункциональной композитной ленты. Закрепляемая с обратной стороны стыка, она служит активной формообразующей и технологической подкладкой [8]. Её основное отличие от пассивных аналогов заключается в комплексном воздействии: обеспечении требуемого профиля обратного валика и модификации структуры металла шва на микроуровне, что напрямую улучшает его эксплуатационные характеристики.

Основой ленты служит субстрат из негорючего и высокотемпературостойкого стекловолокна. Данный материал обладает комплексом исключительных свойств, критически важных для условий сварки. Высокая механическая прочность на растяжение, изгиб и сжатие, позволяющая выдерживать давление расплавленного металла. Минимальная гигроскопичность, исключая риск насыщения влагой и, как следствие, образования пор в шве. Лента имеет двухслойную композитную структуру, где каждый слой выполняет строго определенную функцию. Формирующий (легкоплавкий) слой - расположен со стороны свариваемых кромок. Под термическим воздействием сварочной дуги этот слой плавится, образуя жидкую шлаковую ванну. Эта шлаковая фаза выполняет три ключевые задачи.

1. Формирование геометрии – обеспечивает создание равномерного и гладкого обратного валика с оптимальным профилем проплава.

2. Металлургическая защита – изолирует расплавленный металл от контакта с атмосферой, предотвращая окисление и азотирование.

3. Рафинирование металла – за счет регулируемого химического состава слоя возможна целенаправленная коррекция химического состава металла шва (например, легирование или раскисление).

Тугоплавкий (внешний) слой. Служит термостойким каркасом, который удерживает расплавленный формирующий слой

на месте, предотвращая его преждевременное стекание или разрушение конструкции ленты.

Технологические параметры ленты, такие как плотность (пористость) и толщина каждого слоя, а также их соотношение, являются переменными и подбираются в строгом соответствии со способом сварки и применяемыми режимами. Например, для автоматической сварки под флюсом характерно применение ленты с меньшей плотностью и увеличенной общей толщиной, что обеспечивает больший объем шлаковой ванны и необходимое теплосодержание. Регулировка плотности осуществляется на этапе производства за счет изменения шага и плотности плетения стекловолокон. Для надежной фиксации ленты по всей длине стыка используется металлическая или полимерная фольга с предварительно нанесенным термостойким клеевым составом, что гарантирует ее плотное прилегание к кромкам без образования зазоров.

Ярким примером коммерчески успешной реализации данной технологии является продукция американской компании *Fiback* [6]. Ассортимент предлагается в двух базовых исполнениях, оптимизированных для работы в различных диапазонах сварочного тока: до 200 А и до 600 А (рис. 7а). Для каждого из исполнений предусмотрен выбор ширины полосы стекловолокна – 28,5 мм или 38 мм, что позволяет гибко адаптировать технологию под конкретную толщину металла и конфигурацию разделки кромок.

Алгоритм применения этих материалов (рис. 8а, б), согласно техническим указаниям, состоит из следующих этапов.

1. Подготовительный этап (сборка и зачистка) - выполняется в точности по технологии будущей сварки.

2. Центровка - когда лента позиционируется так, чтобы её центр точно соответствовал оси сварного зазора.

3. Фиксация с обеспечением герметичности. С клейкого слоя снимается защита, после чего лента наклеивается. Обязательным условием является проглаживание краёв для создания воздухонепроницаемого уплотнения.

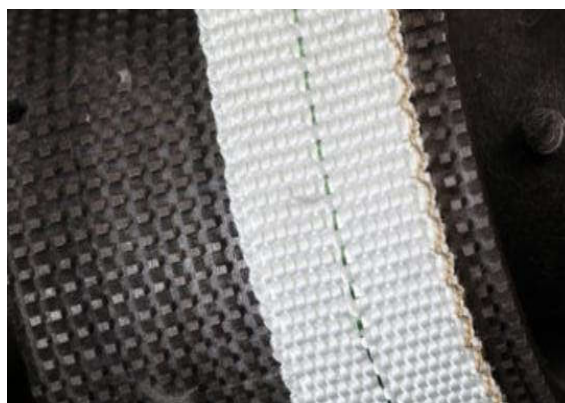
4. Завершающий этап (сварка). Проведение сварочных работ по утвержденной методике.

Помимо этого, анализ конкурентной среды выявляет наличие на рынке других международных аналогов, таких как лента ЛФС-3 [7]. Ее конструктивной основой служит комбинация высокотемпературо-

стойких кремнеземных нитей и нитей Е-стекла, обеспечивающих механическую прочность и стабильность формы. Стандартная ширина ленты составляет 35 мм (рис. 7б), что делает ее применимой для сварки соединений с широким диапазоном зазоров.



а)



б)

Рис. 7. Образцы гибких лент: а – продукт *Fiback*; б – продукт ЛФС-3
Fig. 7. Flexible tape samples: a – Fiback product; b – LFS-3 product



а)



б)

Рис. 8. Использование гибкой фиксирующей ленты при сборке конструкции: а – положение ленты на обратной стороне стыка перед началом сварных работ; б – вид готового сварного соединения

Fig. 8. Use of flexible fixing tape during construction assembly: a – position of the tape on the back side of the joint before welding; b – view of the finished weld

Для случаев сварки двусторонних разделок в качестве альтернативного метода формирования корневого прохода может применяться технология с использованием гибких формовочных стержней диаметром 8...12 мм. Данные стержни, изготовленные из флюсообразующих или ке-

рамических материалов, укладываются в зазор перед сваркой, где, расплавляясь под воздействием дуги, обеспечивают формирование обратного валика и металлургическую защиту.

Специфика работы с гибкими лентами требует неукоснительного соблюдения

регламентов подготовки. Проведенные экспериментальные исследования качества формирования сварных соединений однозначно показали, что для обеспечения требуемых характеристик шва (в первую очередь, для исключения «porosity» - образования пор) необходима обязательная предварительная прокатка лент. Нагрев до температуры 150...200 °С с выдержкой в течение 1...2 часов [15].

Данная операция направлена на полное удаление адсорбированной и гигроскопической влаги из пористой структуры ленты. Наличие даже следовой влаги при контакте с расплавленным металлом приводит к его бурному газонасыщению и образованию дефектов.

Особое внимание следует уделить временному регламенту. После процедуры прокатки лента становится крайне гигроскопичной. Во избежание повторного насыщения влагой из атмосферного воздуха, время с момента извлечения ленты из печи до начала сварки не должно превышать 30 минут. Нарушение этого интервала сводит на нет весь эффект от предварительной термообработки и гарантированно приводит к браку.

В качестве практической апробации рассмотренных методов была разработана и внедрена усовершенствованная технология изготовления корпуса дренажной напорной емкости (рис. 9) из низколегированной стали 09Г2С. Критическим технологическим вызовом при сварке столь массивных конструкций (толщина до 70 мм) является соблюдение требований Правил безопасности ПБ 03-576-03, предписывающих обязательный местный предварительный подогрев до температур 130...150 °С для деталей толщиной свыше 30 мм, что обусловлено необходимостью

предотвращения образования закалочных структур и холодных трещин.

Существовавшая ранее технологическая схема предполагала следующий процесс. Автоматическая сварка под флюсом с внешней стороны стыка обечайки (4) с эллиптическими днищами (5, 6). Ручная или полуавтоматическая сварка (MAG) корневого слоя с внутренней стороны емкости для обеспечения полного проплава.

Данный подход имел существенные эксплуатационные недостатки. Работа сварщика в замкнутом объеме при высокой температуре от предварительного подогрева. Низкая производительность и высокая трудоемкость. Потенциальные риски для качества из-за человеческого фактора в стесненных условиях.

Предлагаемое технологическое решение кардинально меняет подход. Внедрение метода односторонней сварки с использованием гибких формовочных лент позволило полностью исключить внутренние работы. Корневой слой кольцевых швов теперь формируется за один проход с внешней стороны в процессе автоматической сварки под флюсом. Лента, установленная с обратной стороны стыка, гарантирует оптимальную геометрию обратного валика и защиту металла от окисления [8].

Для обеспечения высочайшего качества соединения был проведен комплекс работ по оптимизации режимов сварки (табл.), учитывающий, как характеристики самой ленты (термостойкость, газообразующая способность), так и параметры основного материала. Применение проверенных расходных материалов – проволоки *OK Autrod 12.22* и флюса *OK Flux 10.71 (ESAB)* – обеспечило стабильность металлургических процессов в сварочной ванне и требуемые механические свойства сварного соединения.

Ключевые технологические преимущества, подтвержденные внедрением

1. Повышение производительности. Исключена трудоемкая операция ручной сварки изнутри.

2. Улучшение условий труда. Сварщики избавлены от работы в экстремальных условиях.

3. Повторяемость и стабильность качества. Процесс автоматизирован, влияние человеческого фактора минимизировано.

4. Соблюдение нормативных требований. Технология обеспечивает выполнение всех условий ПБ 03-576-03.

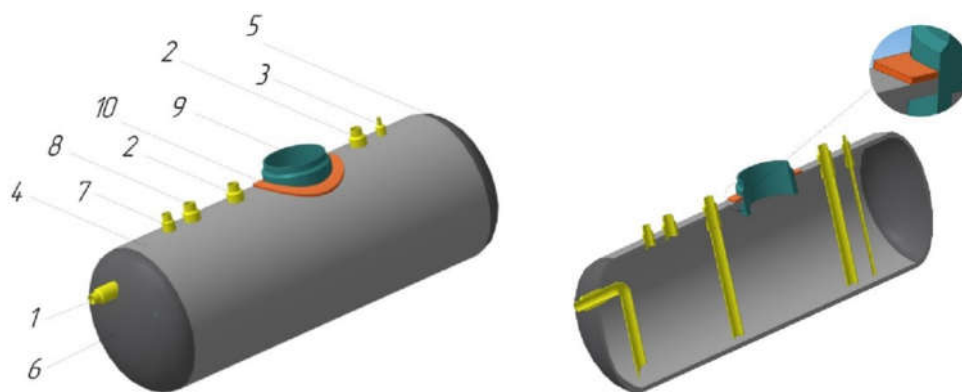


Рис. 9. Емкость напорная дренажная
Fig. 9. Pressure drainage tank

Для автоматической сварки под слоем флюса используется проволока ОК

Autrod 12.22 и флюс OK Flux 10.71 фирмы ESAB [8].

Таблица
Параметры режима автоматической сварки под слоем флюса кольцевых швов

Table

Parameters of automatic welding mode under flux of annular seams

№ прохода	Сварочный ток, А	Сварочное напряжение, В	Скорость сварки, м/ч
1 (коровой)	400-450	26-28	39-42
2	500-600	28-30	39-42
3	600-650	29-31	36-39
4	600-650	30-32	30-33
5 и последующие	700-750	31-33	27-30

Преимуществом гибких лент является возможность их применение для соединений сложной формы и других случаев, когда использование других формирующих устройств труднореализуемо. Развитие современной промышленности позво-

ляет изготавливать ленты с различными геометрическими параметрами, механическими свойствами и химическими составами, что расширяет возможности их применения.

Выводы

Применение различных металлических, керамических, флюсовых и синтетических формирующих устройств позволяет заменить двусторонние швы на односторонние при сварке толстостенных химических аппаратов.

Гибкие синтетические ленты являются перспективным приемом формирования корневого слоя шва сложной формы. Разработана технология сварки корпуса дренажной напорной емкости, позволившая

исключить необходимость ручного выполнения корневого слоя шва.

Таким образом, внедрение рассмотренных методов, в частности гибких формовочных лент, является не просто техническим усовершенствованием, а стратегическим шагом в повышении технологичности, качества и экономической эффективности производства сварных химических аппаратов, что полностью соответствует тенденциям развития современной цифровой промышленности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением и термической. М.: Машиностроение, 2003. 560 с.
2. Антикайн П.А. Металлы и расчет на прочность котлов и трубопроводов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 368 с.
3. Введение в основы сварки: учебное пособие / В.И. Васильев, Д.П. Ильященко, Н.В. Павлов; – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 338 с.
4. ГОСТ 8713-79 («Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры»).
5. Давыдов В. А., Колупаев Ю. Ф., Сидоров А. В. Регулирование формы обратной стороны корневого шва при дуговой сварке стыковых соединений с разделкой кромок // Сварочное производство, 1988, №11, с. 9-11.
6. Доронин Ю. В. Гидродинамические явления в сварочной ванне и их влияние на формирование обратной стороны шва при односторонней сварке // Сварка и диагностика, 2010, №5, с. 1420.
7. Доронин Ю. В., Волобуев Ю. В. «Особенности физико-химических свойств шлаковых систем сварочных материалов, формирующих обратную сторону шва при односторонней дуговой сварке». Журнал «Сварка и диагностика», 2008, №2, с. 17-23.
8. Доронин Ю.В. Некоторые особенности конструирования формирующих слоев подкладочных устройств для односторонней дуговой сварки сталей // Сварочное производство. 2007. №3. С. 25-28
9. Дудко Д. А., Зацерковный С. А., Сидорук В. С. и др. Влияние параметров ручной дуговой сварки модулированным током на форму шва // Автоматическая сварка, 1987, №6, с. 19-22.
10. Коберник Н. В., Чернышов Г. Г., Гвоздев П. П., Линник А. А. «Влияние рода тока и полярности на формирование шва под флюсом». Журнал «Сварка и диагностика», 2011, №5, с. 24-27
11. Лашинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Л.: Машиностроение, 1981. 382 с.
12. Мингачев Д.И., Михеев Р.С., Коберник Н.В., Платов Д.В. Особенности применения подкладных лент для формирования «корневого» слоя шва сварных соединений // Сварочное производство. 2016. - № 34. С. 34-38.
13. Многослойные ткани и ленты. Ленты флюсовые сварочные. URL: <http://3dfabrics.ru/fabrics/lfs> (дата обращения: 08.12.2025)
14. Паршин С. Г. «Техника сварки. Техника ручной и механизированной сварки» (учебное пособие). — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015.
15. Труханов К. Ю., Козлова М. С. «Методы формирования корневого слоя шва при сварке химических аппаратов» // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2018. № 2 (19). С. 12-18.
16. Aquasol corporation. Fiback. URL: <http://www.aquasolwelding.com/ru/fiback> (дата обращения: 08.12.2025).

REFERENCES

1. Akulov AI. Technology and equipment of fusion and thermal welding. Moscow: Mashinostroenie; 2003.
2. Antikain PA. Metals and calculation of strength of boilers and pipelines. Moscow: Energoatomizdat; 1990.
3. Vasiliev VI, Ilyashchenko DP, Pavlov NV. Introduction to the basics of welding: textbook. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University; 2010.
4. GOST 8713-79 Flux welding. Welded joints. Main types design elements and dimensions. Moscow: Standartinform; 2005.
5. Davydov VA, Kolupaev YuF, Sidorov AV. Regulation of the shape of the root bead reverse side during arc welding of butt joints with edge cutting. Svarochnoe Proizvodstvo. 1988;11:9-11.
6. Doronin YuV. Hydrodynamic phenomena in a welding bath and their effect on the formation of the reverse side of the seam during unilateral Welding // Welding and diagnostics, 2010, No. 5, p. 1420.
7. Doronin YuV, Volobuev YuV. Features of physico-chemical properties of slag systems of welding materials forming the reverse side of the seam during unilateral arc welding. Welding and Diagnostics. 2008;2:17-23.
8. Doronin YuV. Some features of the design of lining device forming layers for single-sided arc welding of steels. Svarochnoe Proizvodstvo. 2007;3:25-28.
9. Dudko DA, Zatserkovny SA, Sidoruk BC. Influence of the parameters of manual arc welding with modulated current on the shape of the seam. Avtomaticheskaya Svarka. 1987;6:19-22.
10. Kobernik NV, Chernyshov GG, Gvozdev PP, Linnik AA. Influence of current type and polarity on seam formation under the flux. Welding and Diagnostics. 2011;5:24-27.
11. Lashchinsky AA. Design of welded chemical devices. Leningrad: Mashinostroenie; 1981.
12. Mingachev DI, Mikheev RS, Kobernik NV, Platov DV. Features of the use of lining tapes for the formation of the root seam layer of welded joints. Svarochnoe Proizvodstvo. 2016;34:34-38.
13. Multi-layered fabrics and ribbons. Flux welding tapes [Internet]. [cited 2025 Dec 08]. Available from: <http://3dfabrics.ru/fabrics/lfs>
14. Parshin SG. Welding technique. Manual and mechanized welding techniques: textbook. St. Peters-

burg: Publishing house of Polytechnic. University; 2015.
15. Trukhanov KYu, Kozlova MS. Methods of forming the root layer of the seam during welding of chemi-

cal devices. Science, Technology and Education. 2018;2(19):12-18.
16. Aquasol corporation. Fiback [Internet]. [cited 2025 Dec 08]. Available from: <http://www.aquasolwelding.com/ru/fiback>.

Информация об авторах:

Блудов Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент Национального исследовательского технологического университета (филиал «МИСИС»); тел. 89205810011.

Bludov Aleksandr Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the National Research Technological University (MISIS branch); phone: 89205810011.

Харламов Денис Александрович – кандидат технических наук, доцент Губкинского филиала Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова; тел. (47241) 7-64-04.

Kharlamov Denis Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Gubkin branch of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov; phone: (47241) 7-64-04.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 13.02.2026; одобрена после рецензирования 01.04.2026; принята к публикации 27.04.2026. Рецензент – Нагоркин М.Н., доктор технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 13.02.2026; approved after review on 01.04.2026; accepted for publication on 27.04.2026. The reviewer is Nagorkin M.N., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.