



СВАРКА ТРУБ С ТРУБНЫМИ РЕШЕТКАМИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

В. Е. БЛАЩУК, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
Г. М. ШЕЛЕНКОВ, канд. техн. наук, **В. Э. ТРОЯНОВСКИЙ**, инж.
(ОАО «Сумское машиностроительное НПО им. М. В. Фрунзе»)

Приведены результаты работ по разработке технологии и оборудования соединения труб с трубными решетками. Описаны основные технологические операции, позволяющие получать качественные сварные соединения.

Ключевые слова: аргодуговая сварка, электроно-лучевая сварка, титановые сплавы, теплообменники, трубные решетки, трубы, селективная сборка, вальцовка

Неотъемлемыми элементами теплосиловых установок являются теплообменные аппараты, которые широко используются во многих отраслях промышленности, в том числе атомной энергетике. В последнее время в этой отрасли все большее применение находят теплообменные аппараты, изготавливаемые из титановых сплавов. К их герметичности предъявляются особо жесткие требования, вытекающие из условий безопасной эксплуатации. Это в свою очередь обуславливает высокие требования к качеству соединений труба-трубная решетка, гарантирующие не только надежную герметичность соединений, но и выполнение жестких требований к основным геометрическим размерам теплообменника (уменьшение проходного сечения труб, отклонение от плоскости трубной решетки и др.) [1].

При изготовлении трубчатых теплообменников из титановых сплавов в основном используются два варианта крепления труб в трубной решетке: сварка и сварка + вальцовка [2]. Первый вариант, как правило, применяется при изготовлении теплообменников, эксплуатируемых в стационарных условиях и под воздействием агрессивных сред, второй — при эксплуатации в условиях воздействия вибрационных нагрузок и высоких давлений.

Сварка труб с трубными решетками по отношению к трубной решетке выполняется в двух положениях — в нижнем и на вертикальной плоскости. В цеховых условиях сварку в нижнем положении выполняют в технологических шахтах или на высотных спецплощадках. При отсутствии технологических приспособлений или нецелесообразности их применения из-за габаритных размеров изделия сварку производят в вертикальной плоскости, располагая изделие на роликоопорах. В этом случае при автоматической сварке труб с трубной решеткой возникают определенные трудности, связанные с изменением геометрических параметров сварочной ванны, которые зависят от пространственного положения дуги при ее перемещении по периметру торца трубы. При ручной сварке такие швы выполняют с помощью соот-

ветствующих манипуляций электродом и изменения скорости сварки [3–5].

Важной задачей при разработке технологии сварки труб с трубными решетками является получение заданной высоты рабочего сечения шва для обеспечения максимального проходного сечения трубы (рис. 1). Для теплообменников общего назначения высота рабочего сечения шва $h \geq 0,5b$ (b — толщина стенки трубы). Для теплообменников, к которым предъявляются жесткие требования по надежности закрепления труб, $h \geq b$. Наибольшая надежность достигается при соотношении глубины проплавления к толщине стенки трубы $h/b = 3:4$. Особое внимание в процессе сборки труб с трубными решетками уделяется обеспечению требуемой величины зазора между свариваемыми деталями, что достигается путем либо селективной сборки, либо механической подвальцовки концов труб.

При подготовке деталей к сборке и в процессе сборки под сварку принимают меры для обеспечения надлежащей чистоты поверхностей собираемых деталей. С этой целью концы труб перед набивкой в трубные решетки подвергают механической зачистке и обезжириванию. Аналогично подготавливают отверстия в трубных решетках. Оценка качества подготовки определяют путем протирки поверхностей деталей отбеленной бязевой салфеткой, следы загрязнений на которой не до-

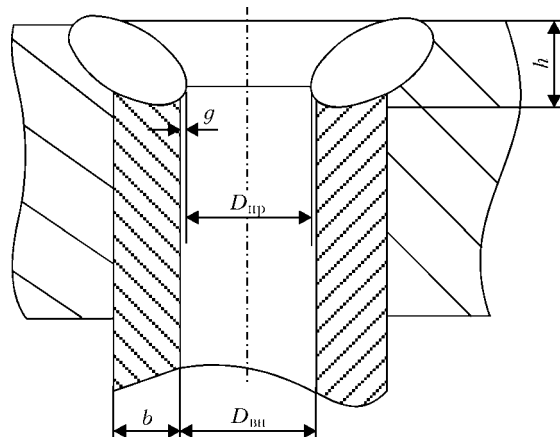


Рис. 1. Схема сварного соединения труба-трубная решетка: h — высота рабочего сечения шва; g — величина наплыва шва; b — толщина стенки трубы; $D_{вн}$ — внутренний диаметр трубы; $D_{пр}$ — диаметр проходного сечения трубы

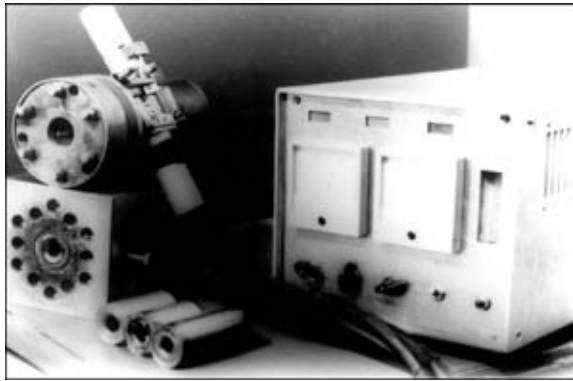


Рис. 2. Сварочный автомат «Комета-М» для сварки труб с трубными решетками погруженной дугой

пускаются. В противном случае операции обезжиривания и последующего контроля повторяют. При сборке под сварку зазор между трубой и стенкой отверстия в трубной решетке не должен превышать $0,1... 0,2$ мм. Превышение допустимого зазора приводит к нарушению формы шва, прожогам стенки трубы и другим дефектам. Однако в тех случаях, когда рабочая среда может вызвать развитие щелевой коррозии, зазоры в обязательном порядке подлежат удалению путем развальцовки (запрессовки) труб на всю толщину трубной решетки до или после операции сварки, либо соединения труба–трубная решетка выполняют с увеличенными зазорами.

В процессе обварки труб в трубных решетках для обеспечения защиты корня сварного шва и прилегающих к нему нагретых участков собираемых деталей от контакта с воздухом межтрубную полость аппарата заполняют аргоном. Сварку выполняют при минимальном разогреве трубной решетки (ее температура в зоне расположения соседних трубок со свариваемой не должна превышать 100°C).

При единичном производстве обварку труб в трубных решетках теплообменных аппаратов производят ручной аргонодуговой сваркой. К недостаткам данного способа следует отнести низкую производительность, малую и нестабильную глубину проплавления, высокую пористость швов (особенно при сварке по предварительно развальцованным трубам), зависимость качества сварки от индивидуального мастерства сварщика. Частично такие недостатки устраняют путем применения флюсовых реагентов на основе фторидов щелочных металлов типа БМК-1, однако при этом ухудшается товарный вид сварных швов, возникают трудности с обнаружением дефектов при испытании на плотность, а сам процесс идет с выделением вредных веществ и требует применения дополнительных средств защиты зоны дыхания сварщика [6].

Для получения гарантированного показателя $h/b > 2$ в сварных соединениях труба–трубная решетка можно использовать известную технологию электронно-лучевой сварки (ЭЛС) в местном вакууме. Для этого разработаны сварочные пистолеты, пространственно ориентирующие электронную пушку на сварку кольцевых швов с помощью центраторов и уплотнителей. Путем двойного лучепреломления



Рис. 3. Сварочный автомат «Агат-1М» для импульсной сварки труб с трубными решетками с принудительным формированием шва

пучок выводится на стык с погрешностью $\pm 0,2$ мм. Однако из-за невозможности устранения корневых дефектов в швах, свойственных ЭЛС, такая технология широкого распространения не нашла [7].

Для получения сварных соединений требуемого качества с показателем $h/b \geq 1$ в ОАО «Сумское НПО им. М. В. Фрунзе» применена технология сварки труб в трубные решетки погруженной дугой, для чего разработана и изготовлена партия автоматов «Комета» (рис. 2), оснащенных системой автоматического регулирования напряжения дуги (АРНД). Технология сварки по слою флюсового реагента с применением этих автоматов обеспечила требуемую глубину проплавления при высокой производительности процесса, однако недостатки, присущие данной технологии, остались прежние. Поэтому необходимо было выполнить работы по совершенствованию технологии и разработать новое оборудование для автоматической сварки труб с трубными решетками, исключая применение флюсового реагента и позволяющее получать сварные соединения, отвечающие требованиям нормативной документации. При этом оказалось, что автоматы «Комета» не полностью обеспечивают решение поставленной задачи.

Анализ выпускаемых автоматов для сварки титановых труб с трубными решетками показал, что сварочная головка серии «АГ», входящая в состав серийно выпускаемого автомата «Агат-1» (конструкции ЦНИИТМАШ), имеет ряд преимуществ по сравнению с серийными импортными головками аналогичного класса, что предопределило ее выбор в качестве базовой для модернизации автомата. Последнему присвоена марка «Агат-1М» (рис. 3). Доработку автомата производили в части возмож-



ности его работы с более мощными источниками питания типа ВСВУ-315, а позже — «ТТ-3000» фирмы «Fronius» (Австрия).

В результате проведенных опытных и конструкторских работ разработано новое оборудование, включающее:

аппаратный блок с расширенными технологическими возможностями по сравнению с базовой моделью;

водоохлаждаемую цангу, позволяющую производить не только центровку сварочной головки автомата относительно обвариваемой трубки, но и осуществлять принудительное формирование сварного шва;

защитную камеру, обеспечивающую надежную газовую защиту зоны сварки и прилегающую к свариваемой трубе, а также позволяющую осуществлять регулировку торца электрода относительно поверхности сборки;

автономный переносной блок охлаждения.

Разработанная технология предусматривает ведение процесса сварки без применения флюсового реагента мощными импульсами тока с принудительным формированием сварного шва водоохлаждаемой цангой, что исключает возможность прожогов стенки трубы, а также неравномерное формирование шва, присущее сварке без принудительного отвода тепла от сварочной ванны. Режим сварки труб диаметром 10×1,5 мм с трубной решеткой следующий: $I_{II} = 280...300$ А; $I_{II} = 20...30$ А; $\tau_{II} = 0,44$ с; $\tau_{II} = 0,24$ с; $v_{св} = 6,4...6,6$ м/ч; $G_{Ar} = 10...15$ л/мин.

Оборудование и технология прошли проверку в условиях серийного производства теплообменных аппаратов из титановых сплавов. Статистическая обработка результатов показала, что технология сварки позволила на 60...75 % снизить пористость

Results of the work on development of the technology and equipment for joining tubes to tube-sheets are presented. The main technological operations are described, which allow producing sound welded joints.

сварных соединений по сравнению с ранее применяемыми технологиями крепления труб в трубных решетках. Сварные соединения имеют хороший товарный вид и обеспечивают постоянство проходного сечения труб в зоне сварного шва даже при значениях $h/b = 1,5...2$. Это особенно важно при проведении последующей вальцовки труб взрывом или электроимпульсом, так как отпадает необходимость калибровки зарядов [8].

С учетом полученных результатов изготовлена партия автоматов «Агат-1М», которые нашли применение при производстве теплообменных аппаратов из титановых сплавов с использованием теплообменных труб с наружным диаметром 10...56 мм и толщиной стенки $b = 1...2,5$ мм.

1. *Особенности* сварки тонкостенных титановых труб с трубными решетками биметалла титан-сталь для теплообменного оборудования / В. И. Михайлов, В. А. Семенов, М. И. Голдобаев и др. // Металлообработка. — 2002. — № 4. — С. 26–30.
2. *Мазуровский Б. Я.* Электрогидроимпульсная запрессовка труб в трубных решетках теплообменных аппаратов. — Киев: Наук. думка, 1980. — 172 с.
3. *Царюк А. К.* Сварка труб с трубными досками (Обзор) // Автомат. сварка. — 1998. — № 4. — С. 25–29.
4. *Царюк А. К.* Оборудование для сварки труб с трубными досками (Обзор) // Сварщик. — 2000. — № 4. — С. 12–13.
5. *Nenon В. К.* Orbital welding in record time // Welding J. — 1999. — № 3. — P. 51–55.
6. *Трояновский В. Э.* Опыт механизированной приварки труб к трубным решеткам теплообменных аппаратов // Актуальные проблемы сварки цветных металлов. — Киев: Наук. думка, 1985. — С. 264–266.
7. *Патон Б. Е., Лесков Г. И.* Основы технологии электронно-лучевой сварки (Обзор) // Автомат. сварка. — 2003. — № 12. — С. 23–31.
8. *Изготовление и эксплуатация оборудования из титана* / Г. М. Шеленков, В. Е. Блащук, Р. К. Мелехов и др. — Киев: Техніка, 1984. — 120 с.

Поступила в редакцию 22.12.2004

АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ НАПЛАВКА ЛЕНТАМИ

Разработаны материалы и технология высокопроизводительной электрошлаковой антикоррозионной наплавки одной или двумя электродными лентами. Производительность процесса наплавки двумя электродными лентами составляет 30...50 кг/ч, доля основного металла в наплавленном — 5...8 %, что дает возможность получать необходимые эксплуатационные свойства уже в первом наплавленном слое. Это наилучшие показатели для процессов наплавки со свободным формированием.

Промышленное опробывание разработанная технология и материалы прошли при наплавке биметаллических листов и деталей атомного энергетического оборудования.

Назначение и область применения. *Высокопроизводительная антикоррозионная наплавка корпусных деталей атомного энергетического оборудования, сосудов для гидрокрекинга нефти, лопастей гидротурбин, биметаллических листов и т.п.*

Контакты: 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11
Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 2
Тел./факс: (380044) 287 63 57