

УДК 621.791

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**Горшкова О.О.***ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», филиал в г. Сургуте,
Сургут, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

В статье выделены показатели процесса сварки, на улучшение которых ориентированы новые сварочные технологии; рассмотрены новые технологии и способы сварки, применяемые в промышленности, выделены их преимущества и недостатки. Определены показатели, способствующие развитию сварочных технологий. Установлено, что новые технологии сварки способствуют повышению производительности процесса, сокращению затрат на производство изделий, повышению качества сварных соединений. Определены основные направления использования новых технологий, рассмотрены их особенности: К-TIG сварка для соединения металлов с низкой теплопроводностью; гибридная лазерная сварка для решения проблемы повышения прочности сварного шва при соединении тугоплавких сталей; двухдуговая сварка при изготовлении крупногабаритных конструкций из легированных сталей, магнитоуправляемый электрошлаковый метод для сварки крупногабаритных изделий из титана и его сплавов. Применение компьютерных технологий в сварочном производстве является наиболее современным направлением, которое обеспечивает разработку эффективных процессов сварки; способствует оптимальному использованию приспособлений; обеспечивает минимизацию образования деформаций в процессе сварки; позволяет получить информацию о зонах термического влияния, с целью оценки качества свойств сварных швов, что способствует получению сварных соединений высокого качества.

Ключевые слова: двухдуговая сварка, К-TIG технология, СМТ сварка, гибридная лазерная сварка, магнитоуправляемая электрошлаковая сварка

NEW TECHNOLOGIES IN WELDING PRODUCTION**Gorshkova O.O.***Industrial University of Tyumen, branch in Surgut, Surgut, e-mail: gorchkovaoksana@mail.ru*

The article highlights the indicators of the welding process, which are aimed at improving new welding technologies; new technologies and welding methods used in industry are considered, their advantages and disadvantages are highlighted. The indicators contributing to the development of welding technologies are determined. It is established that new welding technologies help to increase the productivity of the process, reduce the cost of manufacturing products, and improve the quality of welded joints. The main directions of use of new technologies are defined, their features are considered: K-TIG welding for joining metals with low thermal conductivity; hybrid laser welding for solving the problem of increasing the strength of the weld when joining refractory steels; two-arc welding in the manufacture of large-sized structures of their alloyed steels, magnetically controlled electroslag method for welding large-sized products made of titanium and its alloys. The use of computer technologies in welding production is the most modern direction, which ensures the development of effective welding processes; promotes the optimal use of devices; minimizes the formation of deformations in the welding process; allows you to get information about the zones of thermal influence, in order to assess the quality of the properties of welds, which contributes to the production of high-quality welded joints.

Keywords: two-arc welding, K-TIG technology, SMT welding, hybrid laser welding, magnetically controlled electroslag welding

Новые технологии в сварке ориентированы на улучшение показателей процесса и повышение качества сварного соединения, а именно: уменьшение деформации металла; увеличение производительности процесса сварки; экономию расходных материалов; облегчение и упрощение управлением процессом сварки, внедрение цифровизации, роботизации процессов сварки; расширение возможностей соединения тонколистового металла различных марок; внедрение разработанных диагностических методик, применяемых для контроля качества сварных соединений; использование нового оборудования [1].

Развитие проектов в нефтегазовой отрасли, в судостроении в районах с суровыми климатическими условиями (Арктический регион, Восточная Сибирь) выдвигает

определенные требования к материалам, технологиям, оборудованию, которые должны сохранять конструкционную надежность, обладать коррозионностойкостью и быть способными выдерживать циклические нагрузки. При изготовлении сварных конструкций в конечной себестоимости стоимость сварочных материалов составляет не более 1–2%, при этом надежность и конечное качество металлоконструкций на 70–75% определяется именно качеством сварных соединений [2]. Поэтому особое внимание уделяется вопросу повышения качества сварных соединений в условиях низких температур, что обусловлено рядом особенностей: снижением прочности сварных соединений, замедлением диффузионных процессов, изменением условий горения сварочной дуги. Формирование

закалочных структур, а соответственно, повышение хрупкости металла в зоне их образования обусловлено увеличением скорости остывания металла сварочной ванны.

Материалы и методы исследования

Сравнительный анализ наиболее часто-го использования различных технологий сварки при производстве металлоконструкций показал, что технология ручной дуговой сварки (РДС) покрытыми электродами наиболее часто применяется в России и Китае, в то время как в США, Японии, Европе наибольшее распространение получили механизированные способы сварки порошковыми или сплошными проволоками [2], обеспечивающими высокое качество сварных соединений, высокую скорость сварки, хорошие механические свойства металла шва [3].

Применение новых материалов для изготовления конструкций, использование новых сварочных материалов, повышенные требования к качеству сварного шва, определяемые условиями проведения сварочных работ, обуславливают необходимость рассмотрения новейших сварочных технологий и инноваций в сварочном производстве [4].

Методы: теоретические (изучение, анализ и синтез литературы по рассматриваемой проблеме; анализ предмета исследования; сравнительный анализ данных, обобщение результатов исследования); эмпирические (изучение нормативных документов, анализ документации, анализ результатов механических испытаний; сравнение данных; экспериментальные (механические испытания сварных соединений)).

Результаты исследования и их обсуждение

Одной из новых технологий является технология K-TIG (Keyhole TIG), представляющая собой высокотехнологичный процесс дуговой сварки неплавящимся электродом в инертном газе TIG (Tungsten Inert Gas). В качестве неплавящегося электрода применяются вольфрамовые электроды. Слово keyhole переводится с английского как «замочная скважина», что дало название методу. Патент на технологию K-TIG получила Австралийская организация по научным и промышленным исследованиям (CSIRO). Данный метод используется в европейских странах, США, Австралии, Китае и других промышленно развитых странах при изготовлении резервуаров, цистерн, газовых турбин, в нефтегазовой отрасли при сварке трубопроводов.

Посредством K-TIG возможно выполнять сварку металлов с низкой теплопрово-

дностью (никелевые и титановые сплавы, нержавеющие стали, коррозионностойкие материалы, другие материалы). Скорость процесса сварки до 100 раз выше в сравнении с обычной сваркой неплавящимся электродом в инертном газе, при этом качество сварных соединений соответствует стандарту качества. Например, при сварке аустенитной нержавеющей стали толщиной 12 мм средняя скорость сварки составляет 250 мм/мин. Применение технологии K-TIG способствует уменьшению на 95 % потребления энергии и газа; на 90 % снижается потребление проволоки; уменьшается расход сварочного газа. Процесс сварки способствует обеспечению безопасной среды с низким уровнем задымления. При выполнении сварки не требуется обработка сварных кромок. Процесс сварки производится в широком диапазоне сварочных токов [5].

При сварке K-TIG используются эффекты, возникающие при самоиндукции, способствующие созданию плазменной струи. В процессе сварки до момента расширения кратера на дне сварочной ванны преднамеренно увеличивается дуговое давление. Через корень шва прорывается дно кратера и образуется небольшое отверстие – «замочная скважина», через которую удаляются дуговые газы. Отверстие закрепляется на жидкой поверхности сварочной ванны. Формируется спокойная и прочная сварочная ванна за счет минимизации поверхностной энергии, что непосредственно связано с образованием «замочной скважины» и беспрепятственного выхода газов. Сварочная ванна удерживается на поверхности корня шва за счет силы поверхностного натяжения.

В процессе сварки на расплавленной поверхности сварочной ванны закрепляются отверстия лицевой и корневой поверхностей шва. Образуется широкая зона слияния на лицевой поверхности, что обусловлено независимостью от высокой плотности энергии. Формированию спокойной и прочной сварочной ванны способствуют: уменьшение поверхностной энергии, зависящей от геометрии «замочной скважины»; относительно свободный выход газов; удержание расплавленного металла сварочной ванны на поверхности корня шва за счет сил поверхностного натяжения [5]. Таким образом, технология K-TIG способствует повышению производительности сварки, сокращению затрат на производство изделий, повышению качества сварных соединений.

Одной из современных разработок является технология гибридной лазерной сварки, позволяющая решить проблему, когда прочность сварного шва не уступает

прочности цельного металла. В тонкостенных конструкциях колебания, возникающие под действием нагрузок, отрицательно воздействуют на сварной шов. Применение гибридной сварки, при которой на шов одновременно воздействуют луч лазера и электрическая дуга, дает возможность для решения проблемы прочности сварного шва, которая соизмерима с прочностью цельного металла.

Данный способ применяют для соединения стали тугоплавких сортов, тонколистовой стали. Для этого совмещают гибридный лазер с диоксидом углерода, что обеспечивает при мощности лазерного излучения в пределах 1,5–4,0 кВт получение качественного сварного соединения. Процесс сварки начинается с подачи лазерного луча, под действием которого нагревается до температуры испарения поверхность свариваемого металла и формируется узкий, глубокий провар. Следующая за лазерным лучом дуга способствует образованию широкого кратера горения. Металл электрода смешивается с расплавленным основным металлом в сварочной ванне, на поверхность всплывает расплавленный шлак, что способствует образованию защитной плёнки. Преимущества гибридной лазерной сварки: способ является высокопроизводительным, скорость сварки составляет от 40 до 450 м/час; высокое качество сварных соединений; повышение прочности сварного шва; стабильность процесса сварки; минимальные деформации заготовок в процессе сварки [6].

Способ двухдуговой сварки разработан специально для изготовления крупногабаритных конструкций из легированных сталей. Особенностью технологии является одновременное применение двух разных типов проволоки. В состав проволоки входят легирующие (сверхпрочные) компоненты. В процессе сварки устойчивое горение дуги поддерживается за счет применения керамического флюса, кроме того, флюс защищает зону сварки от вредного воздействия окружающей среды, способствуя формированию идеальной сварной поверхности [7]. Каждый электрод присоединяют к источникам тока. Электроды расположены на малом расстоянии друг от друга перпендикулярно или наклонно к свариваемой поверхности. По одному из них протекает постоянный ток, а по другому – переменный ток. В образующемся газовом пузыре горят одновременно образовавшиеся две дуги. Применяют две сварочные головки: головную, расположенную перпендикулярно, в результате и проволока подается перпендикулярно, и заднюю, которая наклоня-

ется, в результате чего проволока подается в хвостовую часть сварочной ванны под наклоном. Это способствует увеличению толщины шва, повышению качества сварного соединения, увеличению скорости сварки. Большим недостатком, тормозящим широкое применение данного способа, является ограниченность оборудования, недостаточные возможности предлагаемых источников тока, систем управления.

Метод магнитоуправляемой электрошлаковой сварки (МЭС) разработан для сварки крупногабаритных изделий из титана и его сплавов – альфа, альфа+бета. Процесс сварки ведется в шлаковых и металлических ваннах, сила тока достигает 12000 А при напряжении до 36 В. Процесс сварки производится в защитных газах неплавящимся электродом. Переменный ток, проходя по обмоткам электромагнита, которые сдвинуты на 90° относительно друг друга по фазе, создает управляющее вращающееся магнитное поле, которое воздействует на сварочную дугу. Перпендикулярно оси электрода вращается вектор магнитной индукции, в результате магнитное поле, перемещающее дугу по круговой траектории, образуется при равенстве токов, питающих обмотки, по эллиптической траектории – если токи имеют различные значения. В случае, когда на одной из обмоток ток равен нулю, возникают соответственно продольные либо поперечные колебания дуги. Для сварки используется устройство с магнитопроводом с четырьмя диаметрально противоположно расположенными полюсами (четвертый дополнительный), что обеспечивает расширение технологических возможностей за счет увеличения пределов регулирования параметров магнитного поля [8].

Метод МЭС позволяет обеспечить очистку металла шва от примесей и газовых пор, что гарантирует высокое качество сварных соединений при толщине металла 30–600 мм, сварные швы выдерживают большие напряжения, что позволяет использовать изделия, сваренные методом МЭС, в условиях действия высоких динамических и статических нагрузок [9].

В основу технологии СМТ положена методика «холодного» переноса металла, то есть температура значительно ниже, чем при классическом процессе сварки. В процессе СМТ сварки тепловложение в зону сварки значительно уменьшается, что способствует отсутствию точечного перегрева металла, а следовательно, и отсутствию деформаций. Данный метод позволяет соединять разнородные металлы (например, сталь и алюминий, что объясняется неболь-

шими затратами тепла в процессе сварки, также производится сварка цветных металлов (алюминий, магний), пайка листового металла с покрытием [10].

Сварка холодным переносом предусматривает движение проволоки в возвратно-поступательном режиме с высокой скоростью. Сварка производится короткозамкнутой дугой с систематическими прерываниями. В процессе сварки электрод постоянно совершает движения, первоначально подается вперед на короткое время, возникает короткое замыкание. Контролируемое короткое замыкание прекращается за счет быстрого отодвигания проволоки из зоны сварки, после чего оно быстро повторно возвращается. В секунду электродом может совершаться до 70 движений в возвратно-поступательном режиме. Подобные перемещения электрода способствуют оптимизации условий, при которых происходит отделение капли расплавленного электродного металла, что в свою очередь исключает разбрызгивание, шов получается равномерный по плотности.

В процессе сварки уменьшается давление в сварочной дуге за счет попеременного действия («атаки») шва горячими и холодными импульсами. Минимальное разбрызгивание практически исключает необходимость механической обработки шва после сварки, это уменьшает трудоемкость промежуточных операций. Процесс СМТ сварки производится автоматизированными системами с компьютерным управлением процессом.

Наиболее современным направлением в развитии сварочных технологий являются технологии компьютерного моделирования процессов. Компьютерное моделирование обеспечивает разработку эффективных процессов сварки; способствует оптимальному использованию приспособлений; обеспечивает минимизацию образования деформаций в процессе сварки; позволяет получить информацию о зонах термического влияния с целью оценки качества свойств сварных швов. Моделирование процесса сварки производится на основе теплового расчета посредством калибровки виртуальных источников тепла вдоль сварного шва. Компьютерное моделирование сварочных процессов позволяет реализовать технологии, способы сварки, недоступные для выполнения сварщиком. При этом сварщик выступает в качестве оператора процесса, он задает параметры сварки, а программа выбирает оптимальные значения и осуществляет контроль качества сварного соединения [11].

Компьютерное управление процессом сварки позволяет регулировать его параме-

тры. Для этого используются универсальные аппараты, оснащенные программным управлением и периферийными устройствами. Одним из подобных аппаратов является портативный сварочный аппарат (созданный компанией Lincoln Electric). Устройство позволяет осуществлять восемь методов компьютерного управления, предусматривает восемьдесят вариантов применения этих методов для осуществления процесса сварки: управление электрической дугой, подбор оптимальных параметров режима сварки, а также управление роботизированными устройствами для выполнения сварочных работ [12]. Процесс идет с применением пульсирующей дуги. Производится сварка сталей, цветных металлов (алюминий, никель и др.). Рассмотрим некоторые из методов.

В процессе горения пульсирующей дуги MIG/MAG-Puls выделяются три этапа: возрастание силы тока до максимального значения; кратковременная выдержка при этом значении, в результате металл прогревается на значительную глубину, в результате чего на электроде происходит формирование капли расплавленного металла. В дальнейшем происходит снижение до стандартного значения величины силы тока, при этом значении происходит процесс сварки, то есть поддерживается устойчивое горение электрической дуги. Конус дуги сужается за счет увеличения частоты сварочного тока (при уменьшении частоты происходит расширение конуса). С целью заострения конца электрода осуществляется последний импульс, что способствует упрощению запуска дуги для очередного шва.

В методе Puls-on-puls предусмотрено применение комбинации импульсов разных энергий. Импульс высокой энергии способствует очистке и плавке материала. Импульс низкой энергии предназначен для охлаждения расплавленного материала, что способствует формированию волнистого шва, характеризующегося значительной плотностью.

RapidArc. Метод основан на применении четырех этапов регулировки импульса: увеличение до максимальных значений силы тока и напряжения, в результате формируются капли расплавленного металла; резкое уменьшение тока, при этом напряжение уменьшается частично, что способствует созданию плазменного эффекта; резкое уменьшение напряжения, при неизменно низкой силе тока, это приводит к разрыву сварочной дуги, при этом капли стекают в сварочную ванну; после чего происходит пауза и подача нового импульса с высоким током и напряжением. Пауза, затем подача

нового импульса с высоким напряжением и током. Данный метод позволяет осуществлять охлаждение расплавленного металла за счет отделения электрода от расплавленного металла сварочной ванны. Периодический обрыв дуги при снижении напряжения и уменьшении передачи тепла способствуют минимальному обгоранию металла, минимальному разбрызгиванию, при этом скорость сварки увеличивается на 30% (при сварке углеродистой стали в обычном режиме средняя скорость до 45 см/мин, а метод RapidArc позволяет производить сварку со скоростью 60–65 см/мин) [12].

Процесс программирования сварки является наиболее перспективным. Разработки ведутся на основе применения электронно-лучевого принципа, используемого для соединения высокопрочных сплавов цветных металлов. Осуществляется процесс программирования вложений теплоты в контур разверстки пучка. Это обеспечивает возможность осуществления контроля и управления процессом проплавления металла, избегать вероятности образования дефектов [8]. В процессе сварки формируется шов с гарантированными свойствами.

Компьютерные технологии, применяемые в сварочном производстве, позволяют: производить расчет и оптимизацию режимов сварки посредством специализированных математических пакетов; выполнять чертежи деталей, конструкций, подлежащих сварке, производить оформление документации; моделировать различные процессы с целью управления распространением тепловых полей и деформаций, а также задавать параметры процесса сварки и работы сварочного оборудования; моделировать системы автоматизации сварки, системы программного управления процессом, создавать универсальные аппараты источники питания сварочной дуги.

Заключение

Таким образом, в современном мире развития техники и технологий необходимость соединения новых материалов с уникальными свойствами требует разработки

новых технологий и методов сварки, которые ориентированы на повышение качества сварных соединений в условиях увеличения производительности процесса сварки. Применение компьютерных технологий позволяет добиться оптимального качества сварных соединений при минимальных затратах труда, ресурсов и является востребованным процессом в современных условиях.

Список литературы

1. Горшкова О.О. Сварка металлоконструкций. Стерлитамак: АМИ, 2017. 103 с.
2. Сварочные технологии для эффективного производства металлоконструкций // Металлоснабжение и сбыт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/117767> (дата обращения: 15.11.2020).
3. Новые сварочные технологии повышают эффективность производства металлоконструкций // Металлоснабжение и сбыт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/117108> (дата обращения: 15.11.2020).
4. Голунов Н.Н., Субботин Р.А. Инновационные технологии сварочного производства для работы в Арктике // Neftegaz.RU. 2020. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <https://neftgaz.ru/articles/nefteservis/526801-innovatsionnyetehnologii-varochnogo-proizvodstva-dlya-raboty-v-arktike> (дата обращения: 16.12.2020).
5. Новые технологии сварки. Что такое К-TIG сварка? // Сварка 66 [Электронный ресурс]. URL: <https://svarka66.ru/vse-dlja-svarshika/novye-tehnologii-svarki-chto-takoe-k-tig-svarka.html> (дата обращения: 15.11.2020).
6. Пауль К., Ридель Ф. Гибридная лазерная сварка // Фотоника. 2009. № 1. С. 2–5.
7. Способ двухдуговой сварки [Электронный ресурс]. URL: <http://промтехгаз.рф/slovar/dvukhdugovaya-svarka/> (дата обращения: 15.11.2020).
8. Донков Э.Д., Березовский Б.М. Способ сварки магнитоправляемой дугой и устройство для его осуществления // Патент SU № SU 1 811 457 А3. Патентообладатель: Южно-Уральский государственный университет. 2011. Бюл. № 15.
9. Инновационные способы сварки // Ростехстрой [Электронный ресурс]. URL: <https://rosteh.ru/stati/innovatsionnye-sposoby-svarki/> (дата обращения: 15.11.2020).
10. СМТ сварка делает невозможное возможным [Электронный ресурс]. URL: <https://www.informdom.com/metalloobrabotka/2009/3.html> (дата обращения: 15.11.2020).
11. Девятков С. Моделирование сварочных процессов с помощью программного обеспечения фирмы ESI Group // Машиностроение. 2011. № 21. С. 48–52.
12. Новая технология помогает сократить время, необходимое для программирования роботизированной сварки [Электронный ресурс]. URL: <http://robotforum.ru/novosti-texnologij/novaya-texnologiya-pomogaet-sokratitvremya-neobxodimoe-dlya-programmirovaniya-robotizirovannoj-svarki.html> (дата обращения: 15.11.2020).