

# ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING & CUTTING» № 4, 2008

**J. Heinlmann, J. Tuchtfield (Германия).**

## СООРУЖЕНИЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОГО РЕЗЕРВУАРНОГО ХРАНЕНИЯ СЖИЖЕННОГО ПРИРОДНОГО ГАЗА

Сжиженный природный газ (СПГ) приобретает все большее значение в энергетике. Это обусловлено его высокой теплотворной способностью, высоким КПД и экологичным характером. По этой причине возрастает использование СПГ, который вытесняет сырую нефть и уголь. СПГ не только удобен при поставке, но и выгоден с точки зрения затрат, начиная с расстояния 2000 км (оффшорная зона) и 4000 км (береговая зона). В дальнейшем рынок СПГ будет расти по сравнению с твердым топливом — сырой нефтью и углем. Для использования природного газа должны быть построены безопасные и экономичные пути транспортировки от его зарождений до конечного пользователя. Наиболее приемлемой является транспортировка газа в сжиженной форме при низких температурах. Чтобы гарантировать безопасность хранения сжиженного газа при температуре  $-168^{\circ}\text{C}$ , требуются отличные механические свойства основного металла и сварного соединения (соответственно резервуаров). Выполнение этих важных требований возможно при наличии соответствующих сварочных технологий и сварочных материалов. В работе представлены достижения компании UTP Schweissmaterial GmbH в части разработки новых сварочных материалов и усовершенствования сварочного процесса для сооружения резервуара для СПГ.

СПС определяется как сжиженный метан ( $\text{CH}_4$ ), сжижение достигается посредством охлаждения до температуры  $-168^{\circ}\text{C}$ . При сжижении метана сокращение объема характеризуется коэффициентом 600. Таким образом, транспортировка значительно упрощена, так что СПГ можно перевозить в специальных танкерах морским путем, что можно сравнить с перевозкой сырой нефти.

Огромные танкеры (высотой до 50 м) заполняются специальными судами, на которые можно загружать груз из соседнего дока. Танкеры со СПГ отличаются от обычных танкеров, которые перевозят нефть и химикаты. Большинство танкеров для перевозки СПГ имеют два корпуса, чтобы при столкновении или посадке на мель не повреждался наружный корпус, а судно могло продолжать плыть, а СПГ не выливаться. Танкеры для перевозки СПГ имеют резервуары либо сферической формы (их верхняя половина сферы выступает над палубой) или коробчатой. В этом случае прокладка более дорогостоящего трубопровода на очень длинные расстояния, через недоступные зоны исключается. В стране-импортере СПГ временно накапливается в терминале СПГ, расположенном на берегу. На следующем этапе сжиженный газ возвращается обратно в газообразное состояние и подается в трубопроводы.

Для сооружения крупных береговых терминалов ( $50...160\ 000\ \text{см}^3$ ) используется 9 % никелевая сталь. Она хорошо себя зарекомендовала в результате высокой прочности, экономичности и высокой безопасности возникновения хрупких разрушений при низких температурах.

Чтобы удовлетворить постоянную потребность мирового масштаба в незагрязняющем источнике энергии, во всем мире идет непрерывное строительство резервуаров СПГ. Удачное завершение этих проектов возможно тогда, когда все стороны будут задействованы в этой работе, а это в свою очередь зависит от таких факторов, как: а) добросовестная тренировка персонала, б) высокое качество сварочных материалов, в) широкие масштабы испытаний до, во время и после проведения сварочных работ.

**R. Trillmich (Германия).** ОПЫТ КАЛИБРОВКИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРИВАРКИ ШПИЛЕК

В течение нескольких десятилетий приварка шпилек растянутой дугой была безопасным и экономичным методом получения соединений. Установки для приварки шпилек являются стандартным оборудованием и используются для получения прочных соединений металлических конструкций, от которых во многих случаях зависит их надежность. Разрушение таких соединений связано с высоким риском травм персонала и повреждением имущества. Производители оборудования для приварки шпилек обязаны представлять

на рынок только калиброванное оборудование. Кто бы ни использовал это оборудование для изготовления сварных изделий, должен выполнять его калибровку (рисунок) через соответствующие промежутки, чтобы удовлетворить юридическим требованиям (ответственность за продукт, документация, прослеживаемость). Более того, производимая продукция не должна иметь дефектов, которые могут отрицательно сказаться на ее пригодности к эксплуатации. В принципе калибровка представляет собой сравнение реаль-



ных величин, обеспечиваемых данным прибором, и соответствующих заданных величин, взятых из эталона.

EN ISO 17662 позволяет проверить функциональность оборудования для приварки шпилек с помощью практических методов. В стандарте ясно сказано, что приварка шпилек является кратковременным процессом, при котором процессы активации и деактивации усложняют точное измерение реальных величин. Например, общеизвестно, что в источнике питания, способных вырабатывать высокие токи, могут наблюдаться отклонения, превышающие значения, допускаемые стандартами при задании очень низких токов. Это обусловлено характером установки, поскольку мощные источники должны запитываться медленно во избежание чрезмерного превышения тока, что будет означать, что эту установку вообще нельзя использовать для приварки шпилек

#### R. Winkelmann, G. Buerkner (Германия)

#### СВАРКА И ПАЙКА ЛЕГКОПЛАВКИМИ ПРИСАДОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И ПРИПОЯМИ

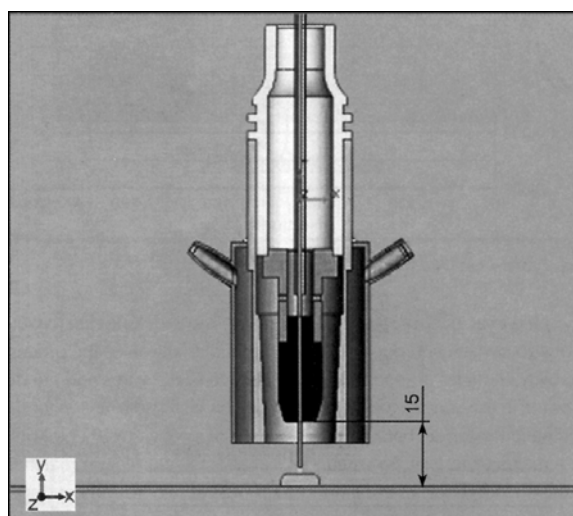
Использование тонких сталей повышенной прочности, деталей с покрытиями из разнородных соединений между легкими и тяжелыми металлами — это только несколько путей получения облегченных конструкций. Для дальнейшего развития этого направления необходимы новые разработки в области технологий термического соединения. В литературе появляется все больше различных решений данной проблемы. Особый интерес представляют разработки, где предлагаемые решения относятся не только к технологическим процессам и оборудованию, но и к материальным аспектам. Для технологии дуговой сварки металлургическим электродом в защитных газах предлагается использование регулируемой короткой дуги. В отличие от традиционной технологии сварки, где отделение капли представляет собой неконтролируемый процесс и в большинстве случаев связано с образованием брызг, новые разработки перспективны в отношении регулирования этой критической фазы. Капли отделяются при пониженном уровне энергии. Кроме того, на размер капли в фазе горения дуги оказывает влияние также один или более импульсов тока. Эти процессы отличаются оптимальными предпосылками для обработки легкоплавких присадочных металлов или припоев, которые в данном случае можно определить как материалы, которые в большей степени подходят для изготовления легких конструкций, чем используемый в течение нескольких последних лет материал на основе меди  $\text{CuSi}_3$ . Сплавы на основе алюминия, магния и цинка — это материалы, в исследования которых все еще можно вкладывать деньги. Температуры

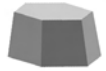
малого диаметра. Специалист, проводящий калибровку, должен действовать осторожно. В любом случае колебания реальных значений важнее разницы между заданными и реальными значениями, как таковыми.

Более того, в стандарте не учтен тот факт, что большая часть промышленных пистолетов для приварки шпилек не оснащена читаемыми дисплеями для задания высоты подъема. В таких случаях отклонения также не могут быть выявлены. Таким образом, современные горелки с заданием цифровых параметров оказываются в невыгодном положении. Для исправления этого положения при очередном пересмотре стандарта предлагается предусматривать большое количество испытаний для пистолетов без дисплея, показывающего высоту подъема. Например, для измерения высоты подъема в десять раз, отклонение, которое еще должно быть установлено, скажем на уровне  $\pm 0,5\%$ , не должно превышать.

Каждый строитель или производитель, который занят контролируемой приваркой шпилек, и/или приваркой шпилек согласно стандартам качества EN ISO 3834, должен ознакомиться с калибровкой оборудования для приварки шпилек. Однако это не означает, что сам владелец должен вкладывать средства в измерительные устройства, которые также необходимо калибровать. Оборудование, состоящее из аппаратной части и матобеспечения, влечет за собой капитальные расходы, равные почти 10.000 евро. При незначительной переналадке это оборудование также пригодно для калибровки других типов оборудования для систем дуговой сварки. Опытному специалисту требуется около одного часа для калибровки источника питания для приварки шпилек растянутой дугой и используемого с ним пистолета. Следовательно, там, где используется всего несколько установок для сварки, рекомендуется обращаться в службу производителя, который обычно также в состоянии предложить упреждающие меры в тех случаях, когда измеренные отклонения превышают допустимые пределы.

плавления этих материалов можно снизить на 300...600 К по сравнению с температурой плавления  $\text{CuSi}_3$ . Для этих материалов необычным является обработка их в открытой дуге (в условиях короткой дуги). Таким образом, это ставит новую задачу, которая, с одной стороны, заставляет уделять больше внимания указанным эффектам, наблюдаемым в современных процессах с регулируемой короткой дугой, и, с другой





стороны, открывает новые перспективы в отношении технологии термического соединения. Данные аспекты перспективны для изготовления легких конструкций.

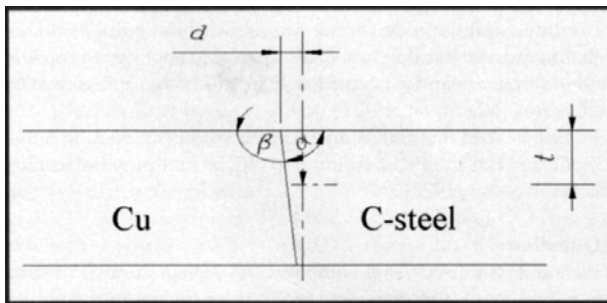
Рассмотрены аспекты, связанные с подачей электродной проволоки, снижением энергии, энергопереносом и отводом газа с позиций использования легкоплавких присадочных металлов и припоев (цинка и магния). В частности, исследуется не только роль контактного наконечника и материала, из которого он изготовлен (Cu, CuCr, CuCrZr, углерод), но и влияние износа и абразивного истирания. В случае использования регулируемой короткой дуги достигается значительное снижение энергии. Получаемый в результате максимальный ток в основном снижается в фазе короткого

замыкания по соответствующей программе. Это позволяет растворить перемычку при коротком замыкании и повторно зажечь дугу при более низком уровне энергии, чем при использовании обычных установок. Описан положительный опыт применения новой горелки (рисунок) с вращающейся системой подачи проволоки (планетарный привод), углеродным контактным наконечником и специальным мундштуком для отвода защитного газа или двухкорпусным мундштуком для подачи и отвода защитного газа. Установлено, что с использованием горелки с углеродным контактным наконечником можно полностью исключить прерывание процесса из-за прилипания проволоки.

**G. Li, C. Yao (Китай). ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА НЕОДНОРОДНЫХ СТЫКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ЖЕЛЕЗА И МЕДИ**

Сварка стали и меди является одной из типичных технологий разнородных соединений. Она наиболее интересна, потому что между медью и сталью существует много различий в химических и термофизических свойствах, таких, как химический состав, форма кристаллической решетки, точка плавления, плотность, коэффициент теплопроводности и фактор линейного расширения. С применением конструкций из меди со сталью во многих промышленных сферах, в том числе и производстве электроэнергии, химической промышленности, авионавтике, технологии, соединения меди и

оптимального уровня плавления между медью и сталью. Результаты показали, что были произведены качественные швы с относительно низким непроваром в корне. Г. Фаникумар и др. провели исследования соединений из железа и меди на семимиллиметровых пластинах с точки зрения изучения природы получения соединений. Исследования проводили на чистой меди и чистом железе и обнаружено, что сторона железа может прорасти в шов с локальным изменением масштаба длины, в то время как стык со стороны меди создавал барьер для такого роста. Стык выступал острой частью, а полосчатую микроструктуру, которая состояла из слоев, обогащенных железом, можно было наблюдать рядом со стыком медного шва.



стали становятся объектом все большего внимания у исследователей всего мира.

Некоторым исследователям удалось получить удовлетворительные соединения из железа и меди, применив электронно-лучевую сварку. Однако электронный луч можно использовать только в условиях вакуума. Лазерная сварка, наоборот, имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными процессами сварки плавлением. Благодаря высокой плотности энергии достигается глубокое проплавление, что позволяет получать однопроходные соединения для толстых пластин, более низкого уровня потребляемой энергии, меньшей ЗТВ, ограниченного процесса деформаций и высокой эффективности. К тому же, положение фокуса лазера поддается регулировке, что является необходимым для гарантии высокого качества швов соединений из железа и меди. Т. А. Май и др. предложили метод получения стыкового соединения из железа и меди толщиной 1 мм посредством смещения фокуса луча от стыка соединения и достигли

В данной работе представлена новая конфигурация стыкового соединения, которая может быть использована для получения удовлетворительного качества шва в соединении углеродистой стали и чистой меди при помощи лазерной сварки. Чтобы проанализировать применимость этой технологии, были протестированы их механические свойства и микроструктура. Более того, применяли методы визуальной экранизации и спектрального анализа для мониторинга процесса во время сварки. Обнаружено, что интенсивность спектральной линии имеет четкую связь с характеристикой коэффициента плавления и данный метод может применяться для контроля коэффициентов плавления при лазерной сварке соединений из железа и меди. Результаты исследований позволили заключить, что комбинация стыковых наклонных кромок и смещение лазерного луча на сторону меди является эффективной для избежания проблем высокой отражательной способности меди и разницы температуры от глубины нагрева энергией лазера для получения гладкой поверхности; меняя расстояние смещения, коэффициенты плавления меди в соединениях намного отличаются. Спектральный уровень может представлять собой изменения элемента меди в плазме в зависимости от расстояния смещения. Этот эффект можно использовать при наблюдении за влиянием расстояния смещения при сварочном процессе; микроструктура и механические свойства показывают, что швы являются качественными, когда медь или слегка проплавлена или расплавлена в значительном количестве. Когда коэффициент плавления меди средний, образуются поры и трещины и механические свойства тогда сильно ухудшаются.

**W. Tillmann (Германия). СВОЙСТВА АЛМАЗНЫХ АБРАЗИВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ, ПАЯНЫХ ПРИПОЯМИ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ**

Использование паяных алмазных абразивных инструментов требует не только хорошего паяного соединения между материалом припоя и алмазом, но и высокого уровня износостойкости матрицы твердого припоя, поскольку она также сцепляется с твердой минеральной основой, которая

подлежит обработке. Твердые припои на основе никеля, благодаря их относительно высокой твердости и прочности, могут оказаться хорошей альтернативой припоя из металлических сплавов, которые, как правило, использовались до сих пор (например, на основе меди), хотя им необходимы



более высокие температуры пайки и, как правило, они приводят к образованию остаточных напряжений в паяном соединении. Исследования свойств были выполнены для того, чтобы изучить качество этого паяного соединения и его характеристики износа, сопровождаемые металлографическими анализами и анализами с помощью сканирующего электронного микроскопа. Испытания имели отношение к соединению между алмазами и матрицей твердого припоя на поверхности раздела, а также к влиянию напряжений, которые были включены в соединение и были продемонстрированы в виде трещин в алмазах и «лопнувших» алмазов. Далее выполняемые исследования предоставляют качественную и количественную информацию относительно режима алмазного сцепления с однородным противодействующим материалом и относительно массы противодействующего материала, снятого при этом. Более того, в этом случае был определен износ матрицы твердого припоя, которая вступает

в абразивный контакт с противодействующим материалом. Это важно для прочности соединения алмазов. Выполненные исследования позволяют использовать расширенный сегмент материалов для пайки из диапазона твердых припоев на основе никеля для производства современных алмазных абразивных инструментов.

Результаты исследований позволили заключить, что твердые припои на основе никеля подходят для пайки алмазных абразивных инструментов, поскольку износ матрицы твердого припоя ниже, чем у образцов, паянных при помощи твердого припоя на основе AgCu. Тем не менее также необходимо принимать во внимание результаты испытаний на изгиб, как на дополнительный критерий, позволяющий выявить признаки не только предварительного повреждения алмаза, но и смачивающих особенностей твердых припоев и способности внедрения алмаза в матрицу твердого припоя.

#### **E. D. Franc, Великобритания. ЧЕМУ МОЖНО НАУЧИТЬСЯ У СВАРЩИКА?**

Во всех учебных дисциплинах, которые входят в сварочную специализацию, сварщик занимает особое положение. Следует отметить, что сварщики и ранее работали в течение очень длительного времени, даже столетий, потому что даже перед началом промышленной революции процесс сварки часто применялся, например, в виде кузнечной сварки. Перспективы многих цивилизаций в ходе истории зависели от процесса производства оружия для битвы. Если мечи не изготавливали бы с применением ковки, итоги многих победоносных сражений минувших веков выглядели бы совсем иначе. Впоследствии некоторые цивилизации, даже та которую мы знаем сейчас, потерпели бы преждевременное фиаско с последующими изменениями сценария истории. Таким образом, существует существенное влияние сварки на развитие человечества.

Не будет лишним напомнить, что достижения сварщиков были поистине значительными до, во время и после промышленной революции. Сварщикам прошлого приходилось работать в поте лица в атмосфере определенного неведения по сравнению с сегодняшней базой знаний, которая уже выработала навыки, очень эффективно применяемые на практике.

Предоставление необходимых услуг, таких как транспортировка нефти, газа, воды, электричества в современной цивилизации зависит от удовлетворительности сварочного процесса. В наши дни специалистам-сварщикам принадлежит роль в авангарде производственных операций; именно они становятся ключевым аспектом процесса соединения и их можно рассматривать как инженеров сварных соединений. Исходя из того, что является правильным для процесса сварки, необходимым для предотвращения возможных неблагоприятных эффектов, вывод напрашивается такой: сварщик — это человек, на которого возлагается значительная доля ответственности за правильное выполнение работы. Неправильное применение процессов сварщиком, не зависимо от того ручные они или автоматические, в любой ситуации полностью подрывает все преимущества технологий выполнения любого соединения, которое принадлежит сварке. Последствием этого может стать то, что это нанесет урон всему результату получения высококачественной продукции. К сожалению, роль сварщика недооценивается руководством, что наносит ущерб многим компаниям. Несомненно, сварщик, таким образом, является очень важным лицом и это оправдывает интерес к нему.