



Обнаружен диапазон режимов ионной обработки поверхности молибдена, покрытой слоем меди, при котором образуется модифицированный слой с механическими свойствами, обеспечивающими сварному образцу плавное изменение микротвердости от меди к молибдену.

Для определения влияния предложенной последовательности операций на служебные характеристики сварного соединения проведен ряд исследований. С помощью метода микрорентгеноспектрального анализа показано увеличение ширины диффузионной зоны меди в молибдене на 15 % при применении модифицированного слоя. Определен режим сварки молибдена с медью, обеспечивающий повышение прочности соединения на срез до 110 МПа, т. е. равнопрочной меди.

С помощью экспериментального рентгеновского метода и метода математического моделирования показано снижение остаточных эквивалентных напряжений в полученных соединениях на 30...35 %, увеличение стойкости при термоциклировании в 5 раз по сравнению с соединением непосредственно Cu–Mo, а также снижение удельного электрического сопротивления на 20 % по сравнению со сварным соединением, полученным по традиционной технологии с применением прослойки никеля.

На основе проведенных исследований разработана технология изготовления способом диффузионной сварки в вакууме медномолибденовых анодов.



ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING and CUTTING», 2010, № 2

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПЛАЗМЕННОЙ, ГАЗОКИСЛОРОДНОЙ И ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ. — С. 91–93

В данной статье рассматриваются вопросы выбора оптимального способа резки в зависимости от совокупности требований к качеству реза, производительности процесса, капитальных и технологических затрат, рентабельности и диапазона технологической применимости конкретного способа.

В зависимости от указанных выше требований применяют три основных способа резки: плазменный, газокислородный или лазерный. Например, для раскроя углеродистой стали толщиной более 50 мм, если отсутствуют высокие требования к качеству реза, наиболее подходящей с точки зрения перечисленных выше критериев является газокислородная резка. Этот процесс характеризуется минимальными капитальными и технологическими затратами, но себестоимость отдельного реза достаточно высока из-за низкой скорости процесса и низкого качества реза, что зачастую приводит к необходимости механической зачистки разрезаемых кромок.

В процессе плазменной резки используют комбинацию электрической энергии и энергии сжатого газа и ее применяют для раскроя любых металлов толщиной от 0,5 до 50 мм, независимо от состояния поверхности (покрытой ржавчиной, окрашенной или рифленой). Ширина реза при плазменной резке в зависимости от толщины разрезаемого металла варьируется в пределах 1,3...8,6 мм. Способ плазменной резки представляет собой наиболее полное сочетание преимуществ относительно

соотношения капитальных и технологических затрат, качества реза и производительности процесса.

Лазерный нагрев используют для нагрева, плавления, частичного испарения металлов и резки при раскрое любых металлов с нормальным состоянием поверхности (без следов коррозии), толщиной менее 6 мм, хотя известно ее применение и для толщин до 25 мм, с достаточно жесткими требованиями к точности. При этом ширина реза составляет от 0,15 до 0,51 мм.

Выбор наиболее подходящего для данной задачи способа резки зависит от наиболее существенного критерия выбора, например, от требуемого качества реза, производительности, технологических затрат, экономической эффективности или возможности быстрой переналадки оборудования и процесса для решения новых технологических задач.

Относительно влияния способа резки на глубину зоны термического влияния, при лазерной резке она минимальна и не превышает 0,2 мм, максимальная глубина этой зоны образуется при газокислородной резке. Лазерный и плазменный способы резки до определенной толщины листа обеспечивают получение достаточно высокой чистоты реза, и в случае образования натеков металла шлак легко удаляется. Точность резки при лазерной сварке находится в пределах 0,0762...0,254 мм, при плазменной резке — 0,254...0,762 мм, а при газокислородной — в пределах 0,508...1,524 мм.



Окупаемость производственных затрат при газокислородной резке составляет 250 рабочих дней с последующим превышением ежедневных доходов над расходами в сумме

200 евро, при лазерной резке эти параметры составляют 395 дней и 760 евро, а при плазменной резке — 56 дней и 1776 евро.

ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БОЙЛЕРОВ ДЛЯ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. — С. 94–98

В статье обсуждаются вопросы сочетания различных типов сварочного оборудования, материалов и сварочных процессов, используемых при изготовлении в заводских условиях узлов трубных теплообменников водогрейных котлов для последующего их монтажа на теплоэлектростанциях мощностью порядка 150 МВт.

Структурная схема сборочных линий, на которых выполняется значительный объем сварочных работ, существенно зависит от характеристик и разновидностей имеющихся в наличии сварочных установок.

Согласно наиболее распространенному варианту технологической схемы изготовления узлов трубных теплообменников, например, на сборочных станах «Straight Tube Welder» фирмы «Polysoude» после фиксирования и центровки труб в сборочном приспособлении сварку труб проводят с вращением их с заданной скоростью относительно неподвижной сварочной головки (рис. 1). Затем проводят приварку к трубам промежуточных элементов типа угольников или U-образных колен, как показано на рис. 2.

Так как в этом варианте различные виды сварных швов могут выполняться как в ручном, так и в автоматическом режиме (при сварке неповоротных стыков), время изготовления узла существенно зависит от количества сварочных установок и операторов-сварщиков.

Исходя из тенденции увеличения мощности тепловых электростанций за счет повышения температуры рабочих сред, для изготовления теплообменников разрабатывают новые более жаростойкие материалы, которые требуют совершенствования существующих способов сварки. Прочностные характеристики наиболее широко используемых для изготовления теплообменников материалов приведены на рис. 3.

Сталь X20CrMoV12-1 (X20) с 1950 г. успешно используют в Германии и в других странах при изготовлении теплообменников на тепловых электростанциях, работающих на ископаемом топливе, а так как сварка этой стали требует особого подхода, эта сталь не была внесена в реестр ASME.

В 1980 г. в США была разработана сталь P91 (A335 согласно коду ASMT или X10CrMoVNb9-1 согласно стандарту DIN № 1.4903), что позволило поднять рабочую тем-

пературу теплообменников с 540 до 600 °С. Более высокая температура эксплуатации была достигнута в ходе разработки стали E911 (X11CrMoWVNb9-1-1 согласно стандарту DIN — № 1.4905) и стали P92 (X10CrMoVNb9-2), которые могут быть использованы для ремонта теплообменников и замены изношенных узлов.

Дальнейшее повышение температуры возможно при применении аустенитных сталей или никелевых сплавов, сварка которых требует предварительного подогрева и последующей термообработки, которую необходимо выполнять индукционным или резистивным нагревом. Газопламенный нагрев менее предпочтителен из-за отсутствия возможности точного контроля теплового режима.

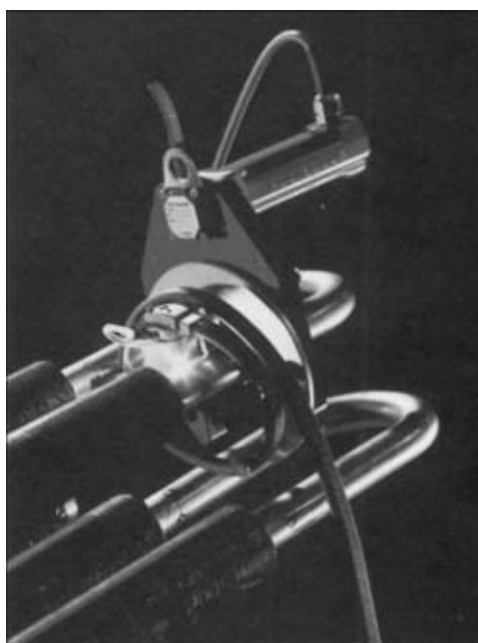


Рис. 2. Приварка U-образных колен

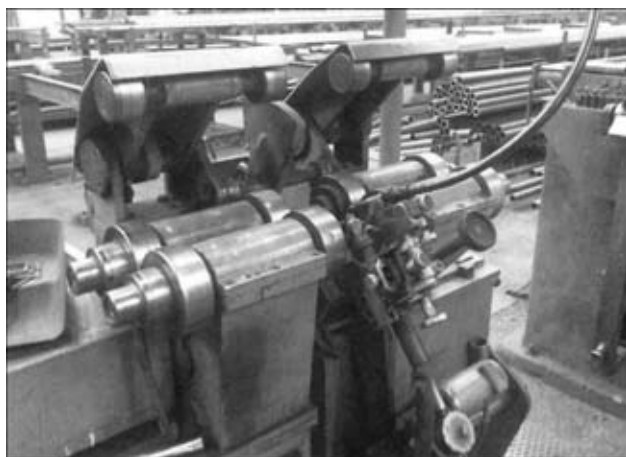


Рис. 1. Трубосварочная установка типа VKW со сварочной головкой, установленной под стыком труб (с верхней подачей присадочной проволоки)

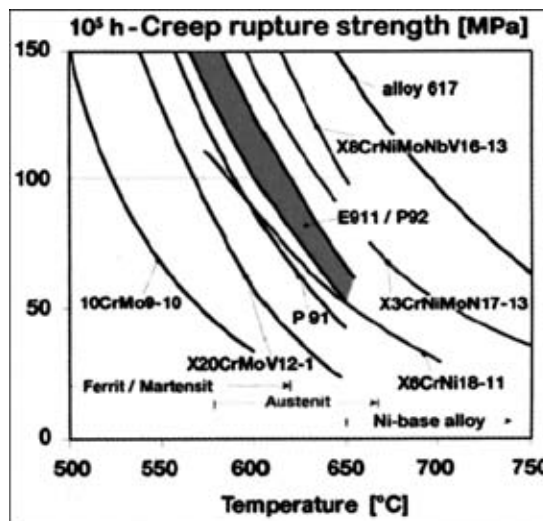


Рис. 3. Зависимость сопротивления ползучести материалов теплообменников от температуры их эксплуатации в течение 10⁵ ч

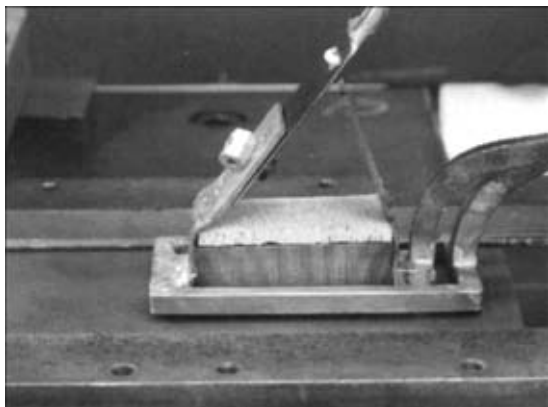


СВАРКА СТАЛЕЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ С ЛОКАЛЬНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ. — С. 101–105

В настоящее время в основном используют преимущества процесса сварки трением с перемешиванием для сварки металлов с низкой температурой плавления, например, алюминия, магния и медных сплавов. Результаты исследований конструкционных и нержавеющей сталей пока еще не нашли широкого применения в серийном производстве из-за низкой стойкости сварочного наконечника, обусловленной воздействием на него высоких механических нагрузок при температуре, близкой к температуре плавления соединяемых материалов. В связи с этим выбор материалов для изготовления сварочного наконечника ограничен молибденом, вольфрамом и некоторыми квазикерамическими материалами.

С целью выявления возможности использования при изготовлении сварочного наконечника из более дешевых материалов и снижения степени воздействия на него механических нагрузок были проведены исследования этого процесса сварки с предварительным локальным индукционным нагревом зоны соединения. Кроме того, предстояло выяснить, позволит ли снижение механических нагрузок на сварочный инструмент повысить скорость сварки до 30 см/мин, возможно ли применение этого способа для соединения высокопрочных сталей, а также решить вопрос выбора оптимального материала подложки или материала специального покрытия, исключающего присоединение к ней свариваемых листов металла.

Для индукционного нагрева использовали индукционную установку КУКА MF-40 с выходной мощностью 40 кВт с индуктором, показанным на рисунке.



Индуктор с керамическими вставками, обеспечивающими стабильный зазор между индуктором и свариваемыми листами

При проведении исследований использовали сварочные наконечники, изготовленные из титан-циркониевого сплава с добавками молибдена, вольфрама и сплавов на его основе, поликристаллического кубического нитрида бора (PCBN), что позволяет увеличить длину сварного шва до нескольких метров.

Температуру на верхней поверхности свариваемых листов проводили бесконтактным методом инфракрасным пирометром, данные которого уточняли в нескольких точках вдоль сварного шва по показаниям термопар, закрепленных в специально высверленных отверстиях на нижней поверхности свариваемого металла.

СВАРКА ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ. — С. 106–110

Сварку трением широко используют для соединения металлов одного состава, разнородных металлов (стали с титаном, стали с алюминием) или металлов с ограниченной сва-

Выводы

При сварке низкоуглеродистой стали S235JR оказалось возможным достижение удовлетворительного качества сварных соединений при температуре предварительного подогрева 500 °С, что позволило снизить механические воздействия на сварочный инструмент и сварочную установку.

При сварке конструкционной термомеханически обработанной мелкозернистой стали S700MC получение удовлетворительного качества сварных соединений было достигнуто при температуре предварительного нагрева около 250 °С. При более высоком вкладе энергии индукционного нагрева относительно энергии, генерируемой сварочным инструментом, возможно появление дефектов сварки в виде разрывов металла сварного шва.

В соответствии с результатами проведенных экспериментов процесс сварки трением с перемешиванием не рекомендуется для соединения оцинкованных листов двухфазной стали DP800+Z.

При сварке коррозионностойкой хромоникелевой стали X5CrNi18-10 возможно получение удовлетворительных результатов при снижении температуры предварительного подогрева и скорости сварки.

При сварке конструкционной и хромоникелевой стали различной толщины (3 и 2 мм) возможно получение качественных сварных соединений, причем основное влияние на качество соединения оказывает не температура предварительного подогрева, а разница толщин соединяемых металлов.

При сварке нахлесточных соединений низкоуглеродистой стали S235JR получение удовлетворительных результатов возможно при относительно невысоком уровне предварительного подогрева из-за неизбежного перегрева верхнего листа. Несмотря на использование предварительного индукционного подогрева свариваемых листов, сварочный наконечник должен обладать максимальной термостойкостью. Для выполнения сварки протяженностью нескольких сантиметров необходимо использование, по меньшей мере, сварочных наконечников, изготовленных из вольфрам-оксид лантана, вольфрам-оксид церия или, лучше всего, из ренированного вольфрама или PCBN. Для выполнения сварных соединений большой длины необходимо использовать PCBN.

Во избежание прилипания свариваемых листов к нижней плите сварочной установке необходимо напылять на нее керамические покрытия и, кроме того, более точно устанавливать глубину погружения сварочного инструмента в свариваемые листы стали.

Наличие покрытий, например, цинка, приводит к появлению вибраций из-за различия коэффициентов трения и к нестабильности процесса сварки.

В некоторых случаях прочность сварных швов превышает прочность основного металла (при сварке низкоуглеродистой стали S235JR), соответствует прочности основного металла (при сварке стали X5CrNi18-10) и составляет 70...80 % прочности основного металла при сварке термомеханически упрочненной стали S700MC.

риваемостью (литых или металлокерамических), однако ранее область применения этого способа ограничивалась металлами круглого или близкого к кругу поперечного сечения.



В данной статье представлены результаты исследования способа сварки трением образцов прямоугольного сечения $a(5...20 \text{ мм}) \times b(10...40 \text{ мм})$ и $30 \times 10 \text{ мм}$, пустотелых образцов с различной толщиной стенки ($2...3 \text{ мм}$) сечением от 20×20 до $40 \times 40 \text{ мм}$ и различных металлов (низкоуглеродистой стали S355 и S235, нержавеющей коррозионностойкой стали X6CrNiMoTi17-12-2, алюминиевых сплавов AlMgSi, AlMg4 и латуни CuZn39Pb2).

Исследования нового способа сварки проводили на специально разработанной для этой цели установке типа MOSUS-RSM100 с приводом зажимного устройства, обеспечивающим вращение и перемещение оси вращения свариваемых деталей кривошипно-кулисным механизмом (рисунок), напоминающее перемещение абразивного круга плоскошлифовальной машины.

Особенностью данного способа сварки трением является постоянство относительной скорости перемещаемых деталей (около 1 м/с) в любой точке свариваемых поверхностей.

К преимуществам предлагаемого способа сварки относятся формирование зоны термического влияния, симметричной относительно плоскости первоначального контакта соединяемых поверхностей, равномерное по всей плоскости соединения выделение энергии (в отличие от минимума тепловыделения вблизи центра вращения при реализации обычного процесса сварки трением), а также совокупность общеизвестных преимуществ, характеризующих обычный процесс сварки трением: возможность проведения процесса без разбрызгивания металла, появления дыма или светового излучения, минимальное тепловложение, возможность соединения разнородных и неэлектропроводных материалов (пластмасс или керамики с металлом).

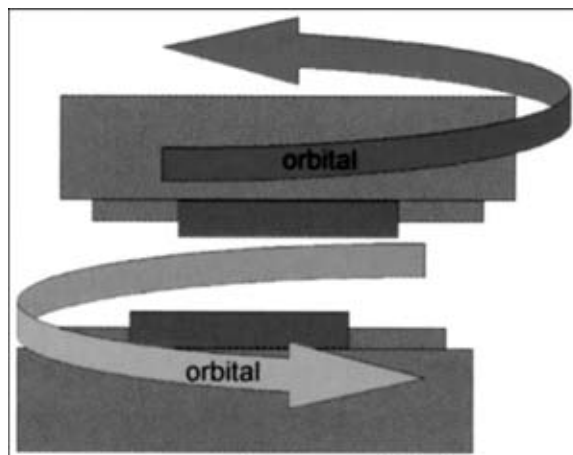


Схема процесса сварки трением с вращательно-поступательным перемещением свариваемых деталей

В результате проведенных исследований установлена возможность достижения механической прочности сварных соединений на разрыв на уровне 90% прочности основного металла в следующем диапазоне технологических параметров процесса сварки: время сварки $2...6 \text{ с}$, усилие сжатия $10...80 \text{ Н/мм}^2$, относительная скорость перемещения свариваемых поверхностей $1...2 \text{ м/с}$. Максимальная частота осцилляции при эксцентриситете $1,5 \text{ мм}$ составляла $2 \times 87 \text{ Гц}$ при смещении наружных поверхностей свариваемых образцов сечением до 400 мм^2 не более $0,2 \text{ мм}$.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ НИКЕЛЬ-ЦИНКО-ФЕРРИТНОГО ПОКРЫТИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ. — С. 111–116

Ферриты обладают низкой электропроводностью ($10...10^5 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) и в зависимости от их химического состава относятся к полупроводникам или изоляторам. Ферриты в основном изготавливаются методами порошковой металлургии, однако за последнее время повсеместно проявляется интерес к технологии нанесения толстых ферритовых покрытий (типа $\text{Me-Fe}_2\text{O}_4$) методами термического напыления, например, введением порошка в воздушно-плазменный или высокоскоростной газокислородный поток.

Порошки феррита наиболее часто изготавливают методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, основанного на экзотермической реакции большинства металлов с бором, углеродом, азотом, кремнием и другими элементами. При изготовлении ферритов в качестве оксидан-

та используют NaClO_2 , после чего готовый Ni-Zn-феррит дробят, отсеивают мелкую фракцию в воздушном потоке, а более крупную фракцию отделяют на ситах.

Результаты проведенных исследований показывают, что при методе высокоскоростного газопламенного нанесения ферритового покрытия на подложку из низкоуглеродистой стали достигается меньшая пористость, чем при использовании плазменного напыления, хотя при этом варианте достигается большая степень адгезии к основному материалу. В процессе термического напыления порошка феррита любым методом происходит его частичное разложение основной фазы (шпинели) на вюстит (FeO) и возгонка цинка, причем, несмотря на меньшую температуру нагрева порошка, эти процессы более заметны при газопламенном напылении.

ВЫСОКОТОЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОЙ РЕЗКИ ФОРСИРУЮТ ПОСТРОЙКУ АВИАНОСЦЕВ ВЕЛИКОБРИТАНИИ. — С. 72

«Techserv Cutting System Ltd.» (Dewsbury/UK) — фирма, специализирующаяся на выпуске установок для резки металлов с числовым программным управлением, разработала установку HS 4000 для высокоточного плазменного раскроя листов металлов шириной до 5 м и толщиной до 35 мм со скоростью резки от 50 до 16000 мм/мин в зависимости от толщины разрезаемого листа.

Система бесщеточного сервопривода фирмы «Baldor Electric Co». (Dewsbury/UK) обеспечивает высокоточное перемещение резака по трем осям с дополнительной автоматической установкой резака на заданном расстоянии от разре-

заемой поверхности и контролем его положения в процессе резки. Повышенная точность реза достигнута в результате разработки специальных программ с применением многоцелевого программного языка, что позволило увеличить скорость обработки и отображения информации в режиме реального времени.

«UK's Aircraft Carrier Alliance» приобрела четыре установки HS 4000 для изготовления гнутых стальных панелей для строящихся двух авианосцев класса Queen Elisabeth, выпуск которых планируется в $2016\text{--}2018 \text{ гг.}$

Материал подготовил В. М. Кисльцын,
канд. техн. наук