



У ДК 621.791.009(100)

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНОЙ СВАРКИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

Г. ГЕРОЛЬД, М. ЗИНКЕ, М. КАРПЕНКО (Ун-т Отто фон Гиреке, г. Магдебург, Германия)

Показаны преимущества применения гибридного процесса сварки (ИАГ-лазер и ТИГ с горячей присадочной проволокой) по сравнению с процессами ТИГ и лазерной сварки для получения надежных и технологичных соединений ответственных конструкций из высоконикелевых сплавов. При небольшой погонной энергии сварки можно достичь большой глубины проплавления и высокой производительности процесса.

Ключевые слова: высоконикелевые сплавы, ТИГ, ТИГ с горячей присадочной проволокой, лазерная сварка, гибридная сварка, высокая производительность

Общественность Германии относится к получению атомной энергии в основном отрицательно, поэтому многие электростанции работают на ископаемом топливе. Действующее законодательство страны предписывает использование установок для десульфурации дымовых газов (ДДГ) с целью ограничения образования агрессивных газов вследствие сгорания органических веществ — антрацита, бурого угля, нефти. Следовательно, существует необходимость во внедрении или модификации таких систем на новых и уже существующих электростанциях.

Установки для ДДГ подвергаются коррозионному воздействию различных агрессивных сред. В частности, такие участки, как необработанные впускные газовые клапаны, должны отличаться стойкостью к коррозионному воздействию серной, соляной и плавиковой кислот, а также воды, содержащей кислоты или галогениды, при крайне высоких локальных температурах и эрозии.

Исходя из опыта США, в установках для ДДГ начали применять высоколегированные нержавеющие стали марок 1.4429 (X2CrNiMoN17-13-3), 1.4439 (X2CrNiMoN17-13-5) и 1.4539 (X1CrNiMoCuN25-20-5). Поскольку детали, изготовленные из этих сталей, также подвержены коррозионному разрушению, в настоящее время они используются редко. Применение для этих целей специальных высококачественных сталей и сплавов на основе никеля с высокой коррозионной стойкостью требует разработки гибких, надежных и эффективных технологий для обеспечения высокой коррозионной стойкости сварных соединений, а также экономичности сварочного производства.

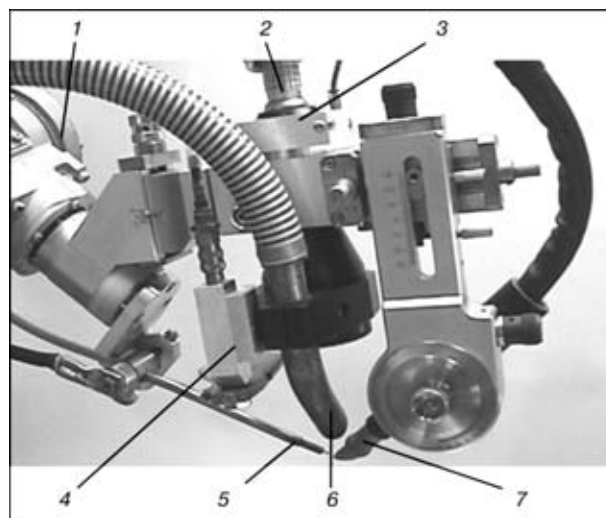
Из-за указанных коррозионных воздействий детали из сплавов на основе никеля в средних зонах установок для ДДГ соединяются практически только способом сварки ТИГ. Опыт показал, что этот процесс обеспечивает очень хорошее качество швов, необходимое при достаточно больших коррозионных нагрузках.

Существенным недостатком ручной сварки ТИГ является ее низкая производительность. Более эф-

фективным способом соединения листовых материалов из никелевых сплавов является сварка ТИГ с горячей присадочной проволокой, применяемая во всех пространственных положениях, при этом можно достичь скорости сварки приблизительно 0,8 м/мин. Еще одним ее преимуществом является высокая производительность — около 5,8 кг/ч при 100 %-м рабочем цикле, $I_{св} = 300$ А и диаметре проволоки 1,2 мм.

Плазменная сварка также является перспективным способом при серийном производстве установок для ДДГ из сплавов на основе никеля, поскольку стойкость к питтинговой коррозии соединений, полученных этим способом, не уменьшается. Однако необходимо ограничивать скорость сварки максимум до 0,33 м/мин, чтобы избежать дефектов в сварных швах при больших зазорах в нахлесточных соединениях.

Характеристики швов, полученных лазерной сваркой, зачастую эквивалентны характеристикам швов, выполненных сваркой ТИГ, или даже лучше. Тепловое воздействие на свариваемый материал на порядок меньше за счет высокой концентрации вводимой энергии. Существенными недостатками лазерной технологии с использованием CO₂-лазе-



Головка для гибридной сварки со встроенной подачей горячей проволоки, отводом паров металла и поперечной струей: 1 — рука робота; 2 — гибкий световод; 3 — головка для лазерной сварки; 4 — устройство для создания поперечной струи; 5 — горячая присадочная проволока; 6 — отвод паров металла; 7 — горелка для сварки ТИГ

© Г. Герольд, М. Зинке, М. Карпенко, 2003



ров являются ее непригодность для использования в полевых условиях и весьма значительные первоначальные затраты. Твердотельные лазеры отличаются более подходящими характеристиками для использования в полевых условиях по сравнению с газовыми лазерами, поскольку их излучение можно транспортировать с небольшими потерями по световодам на расстояние до 100 м и более. Однако применение концентрированного лазерного пучка требует строгого соблюдения небольших допусков при подготовке соединения под сварку для того, чтобы исключить образование дефектов шва.

Технология гибридной сварки, известная еще с 1970-х гг., является решением указанной проблемы. Она технически и экономически обеспечивает выгодные производственные возможности сварки деталей промышленных установок из высокоэффективных коррозионно-стойких материалов, подверженных значительным коррозионным нагрузкам.

С нашей точки зрения, комбинация процессов сварки ИАГ-лазером и ТИГ с горячей присадочной проволокой наилучшим образом подходит для сварки тонколистовых материалов в полевых условиях. С одной стороны, световоды обеспечивают гибкую передачу излучения ИАГ-лазера; с другой, сварка ТИГ независимо от применения холодной или горячей присадочной проволоки является самым надежным и наиболее часто используемым высокоэффективным способом сварки упомянутых материалов.

Оборудование для гибридной сварки включает источник питания для сварки ТИГ Magic Wave

2000 Fuzzy и импульсный твердотельный ИАГ-лазер HLS 622. Разработана специальная головка для гибридной сварки (рисунок), обеспечивающая воспроизводимую настройку всех параметров, относящихся к процессу. Взаимодействие между тремя источниками энергии (лазерным пучком, дугой ТИГ и горячей проволокой) создает дополнительную энергию, которая фокусируется в зоне сварки. Поэтому при небольшой погонной энергии можно достичь большой глубины проплавления и высокой производительности. Этот способ отличается очень большой скоростью сварки и хорошим качеством швов по сравнению с традиционной сваркой ТИГ и лазерной сваркой.

Максимальная скорость сварки на имеющемся оборудовании достигает 1,8 м/мин, тогда как использование твердотельного лазера с более высокой мощностью (например 1 кВт) позволяет увеличить скорость сварки более чем до 2 м/мин.

Таким образом, для сварки высококачественных материалов необходима разработка гибких, надежных и эффективных технологических процессов, что обусловлено требованиями к обеспечению высокого качества сварных соединений, а также к эффективности сварочного производства. Гибридная технология процессов сварки ИАГ-лазером и ТИГ с горячей присадочной проволокой имеет преимущества по сравнению с традиционной сваркой ТИГ и лазерной сваркой. Способ гибридной сварки представляет собой решение экономической проблемы создания установок для ДДГ при условии разработки соответствующих роботизированных систем сварки, пригодных для использования в стационарных условиях на электростанциях.

Advantages of application of hybrid process of welding (YAG-laser+TIG hot wire) are shown as compared with TIG processes and laser welding for producing reliable and technological joints of critical structures from high-nickel alloys. At a low heat input of welding it is possible to attain a large depth of penetration and high efficiency of the process.

Поступила в редакцию 27.06.2003