

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ГЕРМЕТИЗАЦИИ ТРУБ ТЕПЛООБМЕННИКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МОКРОЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКОЙ

С. Ю. МАКСИМОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Одним из альтернативных источников энергии являются тепловые насосы. Входящие в их состав теплообменники представляют собой трубы диаметром 140...190 мм, уходящие в землю на глубину 200 м и заполненные теплоносителем — смесью воды с 25 % специальной охлаждающей жидкости FHC2 на основе антифриза с коррозионными ингибиторами. Для герметизации теплообменника разработана технология приварки доньшка с помощью автоматической подводной сварки порошковой проволокой. Определено влияние охлаждающей жидкости и глубины на формирование и структуру металла шва, выбраны основные параметры процесса сварки — скорость подачи проволоки, скорость вращения автомата, углы наклона горелки, оптимальный зазор между стенкой трубы и торцом привариваемого доньшка. Проведена опытно-промышленная проверка. Библиогр. 2, рис. 8.

Ключевые слова: дуговая мокрая сварка, низкоуглеродистая сталь, тепловые насосы, приварка доньшка, порошковая проволока, автоматизация процесса

Постоянный рост стоимости нефтепродуктов и газа заставляет многие страны все чаще обращать свое внимание на способы получения так называемой возобновляемой энергии. Одним из типовых решений в данной отрасли являются тепловые насосы. В частности, на их основе работает разработанная компанией «Greenfield Energy Limited» система «Geoscart™» [1]. Она предназначена для управления тепловыми потоками общественных и коммерческих зданий и предприятий с непрерывным энергопотреблением высокой плотности: современные супермаркеты, отели повышенного класса, стационарные больничные комплексы, предприятия пищевой и фармакологической промышленности. При этом используются геотермальные теплообменники специальной конструкции для быстрой и эффективной передачи излишков или дефицита тепла, используя высокую плотность и теплоемкость геологических формаций, расположенных значительно ниже поверхностных грунтов. Стандартными глубинами для теплообменного процесса являются интервалы до 200 м ниже уровня поверхности земли. Каждый комплекс состоит из более чем десятка теплообменников, представляющих собой трубы диаметром 140...190 мм, заполненные смесью воды с 25 % специальной охлаждающей жидкости FHC2 на основе антифриза с коррозионными ингибиторами. Нижний конец труб герметизируется с помощью каучуковой пробки специальной конструкции. Практика эксплуатации теплообменников показала, что через несколько лет в результате старения материала пробки появляется утечка теплоносителя, приводящая к снижению КПД тепловых насосов.

Целью работы являлась разработка технологии герметизации труб теплообменников автоматической подводной мокрой сваркой порошковой проволокой в растворе антифриза на глубине 200 м.

Исследования проводились в два этапа — на лабораторной установке на базе трактора ТС-17 и в гидробарокамере с имитацией глубины. На первом этапе выполнялись наплавки опытными порошковыми проволоками в растворе антифриза. Скорость сварки составляла 6,8 м/ч, скорость подачи порошковой проволоки — 250 м/ч. Образующиеся при диссоциации раствора охлаждающей



Рис. 1. Сварка с охлаждающей жидкостью FHC2

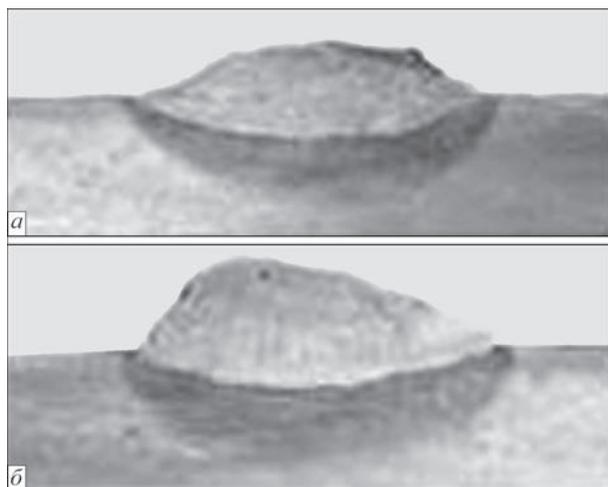


Рис. 2. Макрошлифы наплавов, выполненных в пресной воде (а) и в 25%-м растворе охлаждающей жидкости FXC2 (б)

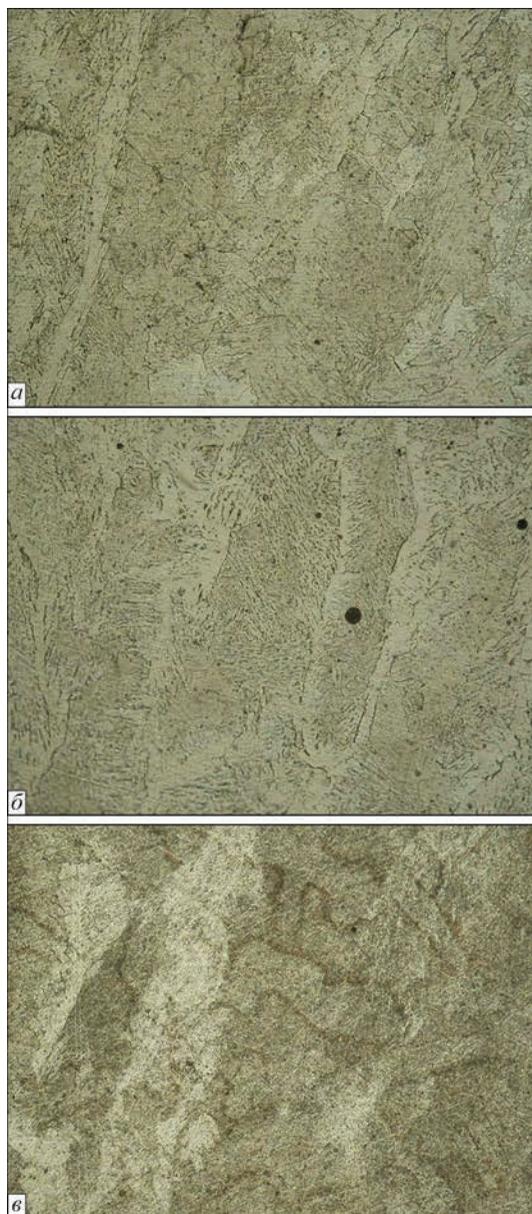


Рис. 3. Микроструктура наплавов, выполненных в пресной воде (а); в 25%-м растворе охлаждающей жидкости FXC2 на глубине 0,2 (б) и 200 м (в) ($\times 250$)

жидкости пары, выходя на поверхность воды, воспламенялись (рис. 1).

Макрошлифы наплавов, выполненных выбранной для дальнейших исследований порошковой проволокой, приведены на рис. 2. Наличие охлаждающей жидкости фактически не оказало заметного влияния на формирование наплавленного валика.

Для определения влияния условий сварки на структуру металла шва дополнительно была выполнена наплавка на глубине 200 м. Металлографические исследования образцов проводили на микроскопах Neophot-32 и Poluvar при разных увеличениях. Твердость измеряли на микротвердомере М-400 фирмы Лесо. Цифровое изображение получили при помощи фотокамеры Olympus-5050. Результаты показали, что структура металла шва при сварке в пресной воде — феррит с упорядоченной второй фазой (рис. 3, а), с максимальной твердостью $HV10 - 1950$ МПа. При сварке в 25%-м растворе охлаждающей жидкости FXC2 в металле шва образуются полигональный феррит, иногда с ориентацией по Видманштетту, и тонкодисперсные выделения перлита вдоль границ кристаллитов, размер зерен несколько увеличивается. В теле кристаллитов образуется несколько модификаций феррита — полиэдрический и две модификации пластинчатого — с упорядоченной второй фазой и с неупорядоченной (рис. 3, б). Твердость несколько уменьшается ($HV10 - 1820$ МПа). При сварке на глубине 200 м структура металла шва представляет собой мелкодисперсный зернистый перлит и участки свободного феррита (рис. 3, в). Появились отдельные крупные поры. Твердость снизилась до $HV10 - 1600$ МПа. Таким образом, добавка охлаждающей жидкости FXC2 не приводит к значительной деградации микроструктуры металла шва.

На втором этапе выполнялась отработка техники сварки применительно к приварке доньшка автоматом в гидробарокамере. Образцы представляли собой тавровое соединение (рис. 4). Горизонтальная полка толщиной 10 мм имитировала



Рис. 4. Образец для сварки

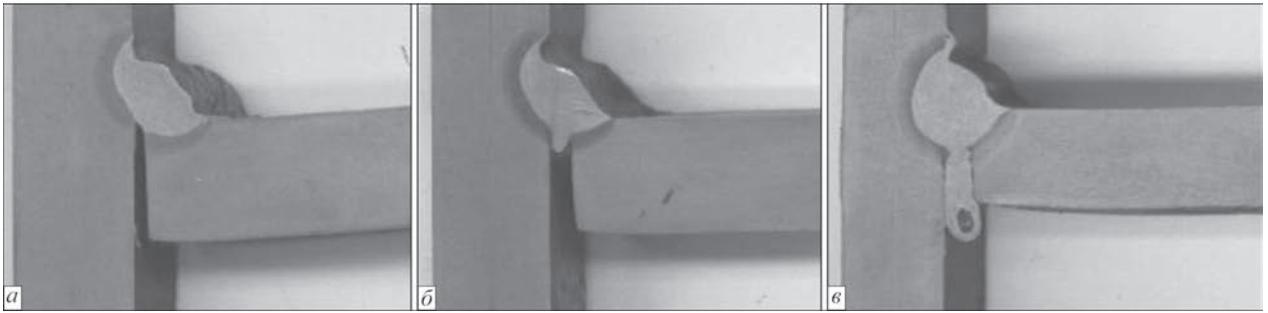


Рис. 5. Примеры сварных соединений образцов с различными параметрами сборки и сварки

доньшко. Исходя из конструктивных особенностей автомата [2] и условий доставки доньшка к месту сварки желательно, чтобы зазор между его кромками и стенкой трубы был как можно больший. С другой стороны, увеличение зазора может привести к потере жидкого металла. Поэтому образцы для сварки собирались с зазором от 0 до 5 мм. Также варьировали угол наклона держателя в вертикальной и горизонтальной плоскости и место зажигания дуги — на стенке или доньшке с различным расстоянием от края. Скорость сварки изменялась в диапазоне 2,8...6,8 м/ч, скорость

подачи проволоки 160...260 м/ч. Сварка выполнялась опытной порошковой проволокой диаметром 1,6 мм на обратной полярности. Напряжение холостого хода 40...42 В.

На рис. 5 приведены макрошлифы типичных сварных соединений. Наиболее приемлемые результаты получены при величине зазора между го-



Рис. 6. Образец для испытаний на разрыв: перед сваркой (а), после сварки на глубине 200 м (б) и после испытания (в)

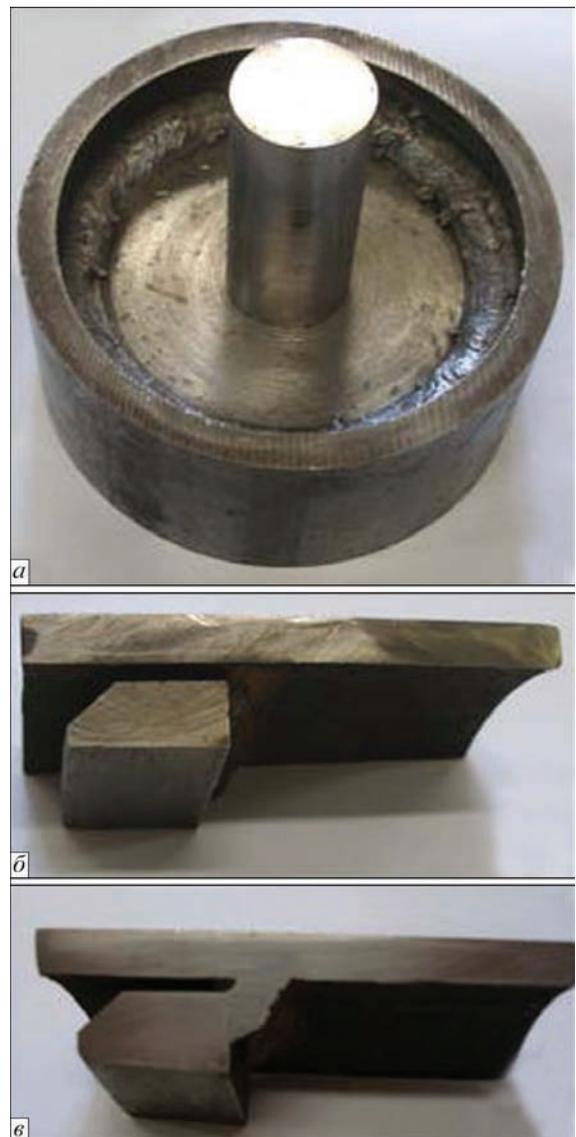


Рис. 7. Результаты приварки доньшка к внутренней поверхности трубы: а — кольцевой шов с перекрытием; б — реальный зазор между доньшком и трубой; в — форма сварного соединения



Рис. 8. Внешний вид приваренного доньшка

ризонгальной и вертикальной полками таврового соединения 4 мм. Поджиг осуществлялся на горизонтальной полке на расстоянии 1...2 мм от края. Угол наклона электрода в вертикальной плоскости составлял 40...50°, в горизонтальной — порядка 20°. Скорость сварки около 5 м/ч, скорость подачи проволоки 220...240 м/ч.

Для определения прочности металла шва на срез были сварены образцы, имитирующие угловое соединение (рис. 6), и испытаны на растяжение. Скорость сварки 5,1 м/ч, скорость подачи проволоки 240 м/ч, $U_{x,x} = 41$ В. Усилие разрушения составило 9150 кг или в пересчете на сечение разрушения 438 МПа. Учитывая, что доньшко испытывает давление столба воды величиной 200 МПа, можно заключить, что образующееся сварное соединение имеет значительный запас прочности.

На заключительном этапе разработанная технология проверялась на специальном стенде, разработанном в ОКТБ ИЭС, в автоматическом режиме. Сварку выполняли в два этапа. С помощью прихватки доньшко фиксировалось относительно стенки трубы для предотвращения вращения доньшка вместе с автоматом внутри трубы. Затем автомат перемещался на противоположную сторону доньшка и выполнялась сварка кольцевого шва. Время сварки выбиралось из учета перекрытия в 2...3 см начала шва. Внешний вид приваренного доньшка и макрошлифы приведены на рис. 7.

В промышленных условиях сварка выполнялась в г. Крейфорд, Великобритания, в трубе диаметром 119 мм. Объект состоял из 15 скважин

глубиной от 180 до 210 м, угол размещения скважин относительно вертикали от 0 до 15°. Перед началом сварочных работ скважины проверялись специальным набором муляжей диаметрами 118, 117, 116 мм на проходимость сварочного автомата и для определения диаметра доньшка. Скорость сварки 6,3 м/ч; время сварки 3 мин 18 с; ток сварки 200...220 А; напряжение 50 В. После сварки качество сварного шва оценивалось визуально с помощью специальной видеокамеры (рис. 8) и избыточным давлением 1 МПа в течение 30 мин.

Полученные результаты показали, что разработанная технология приварки доньшка внутри трубы обеспечивает ее герметизацию, предотвращая потерю дорогостоящего теплоносителя и снижение КПД теплового насоса.

Список литературы

1. Stickney K. (2009). Introduction to geoscart™ and the benefits to refrieraeration systems. *Greenfield Energy Ltd*, 18.
2. Лебедев В. А., Максимов С. Ю., Пичак В. Г. и др. (2014). Автомат для дуговой подводной сварки мокрым способом в стесненных условиях. *Автоматическая сварка*, 9, 41–46.

С. Ю. Максимов

ІЕЗ ім. С. О. Патона НАН України.
03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11.
E-mail: office@paton.kiev.ua

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ГЕРМЕТИЗАЦІЇ ТРУБ ТЕПЛООБМІННИКА АВТОМАТИЧНИМ МОКРИМ ПІДВОДНИМ ЗВАРЮВАННЯМ

Одним з альтернативних джерел енергії є теплові насоси. Теплообмінники, що входять до їх складу, являють собою труби діаметром 140...190 мм, які йдуть в землю на глибину 200 м і заповнені теплоносієм – сумішшю води з 25 % спеціальної охолоджувальної рідини FHC2 на основі антифризу з корозійними інгібіторами. Для герметизації теплообмінника розроблена технологія приварювання денця за допомогою автоматичного підводного зварювання порошковим дротом. Визначено вплив охолоджуючої рідини і глибини на формування та структуру металу шва, обрані основні параметри процесу зварювання — швидкість подачі дроту, швидкість обертання автомата, кути нахилу пальника, оптимальний зазор між стінкою труби і торцем донця, що приварюється. Проведена дослідно-промислова перевірка. Бібліогр. 2, рис. 8.

Ключові слова: дугове мокре зварювання, низьковуглецева сталь, теплові насоси, приварка денця, порошковий дріт, автоматизація процесу

Поступила в редакцію 21.04.2017