

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. А. ПАНТЕЛЕЙМОНОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описан мобильный комплекс оборудования МКТ 1420, предназначенный для термообработки сварных соединений трубопроводов. Показаны его возможности по отработке заданных режимов нагрева с применением гибких электронагревателей сопротивления. Рассмотрены особенности конструкции и приведены сравнительные характеристики секционных нагревателей сопротивления, предназначенных для термообработки сварных соединений и местного нагрева трубопроводов.

Ключевые слова: термообработка, сварные трубопроводы, мобильный комплекс оборудования, нагреватели сопротивления

Термообработка (ТО) сварных соединений трубопроводов является довольно сложным и трудоемким технологическим процессом. К оборудованию и нагревательным устройствам для выполнения ТО предъявляются жесткие требования относительно мощности, надежности, транспортабельности, простоты в обслуживании. Особое внимание уделяется вопросам соблюдения и точности поддержания режимов ТО, поскольку они влияют на релаксацию напряжений в сварных соединениях и их свойства. Кроме того, характерное для местного нагрева трубопроводов неравномерное распределение температурных полей по длине трубы может вызвать появление в металле околосшовной зоны напряжений больших, чем остаточные [1]. Для исключения такого влияния необходимо обеспечить равномерный нагрев сварного соединения по периметру трубы при минимальном перепаде температуры по толщине стенки, особенно при ее большой толщине. Этого достигают путем поддержания или изменения по определенной программе основных параметров режима ТО — скорости нагрева, продолжительности выдержки при температуре нагрева и скорости охлаждения. Обеспечить реализацию регламентированных режимов ТО сварных соединений трубопроводов могут мобильные комплексы оборудования, в состав которых должны входить источники питания с пусковой аппаратурой, системы измерения, контроля и регулирования технологических параметров ТО, средства защиты обслуживающего персонала и нагревательные устройства. Автономность работы, относительно небольшие габариты позволяют использовать мобильные комплексы в цеху при питании от стационарных электрических сетей или в условиях строительной-монтажной площадки при питании от передвижной электростанции.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан мобильный комплекс оборудования МКТ 1420 (рис. 1), предназначенный для выполнения ТО горизонтальных или вертикальных сварных соединений трубопроводов диаметром до 1420 мм, подогрева стыков труб перед сваркой и сопутствующего нагрева при сварке [2]. При этом используют радиационный способ нагрева. Работы можно проводить одновременно по трем каналам по независимой программе. Максимальное удаление комплекса от нагревательных устройств составляет 20 м. Источниками питания нагревателей служат модернизированные трансформаторы ТДФЖ-2002 (каналы нагрева 1 и 2) и ТДФЖ-1002 (канал нагрева 3). Управление работой комплекса осуществляют от единого пульта оператора-термиста в ручном и автоматическом режимах. Системы регулирования каналов нагрева построены на базе цифрового прибора ТРЦО2 П. Для измерения температуры нагрева имеются 12 каналов подключения термоэлектрических преобразователей. Предусмотрены визуальный контроль температуры по показаниям приборов и регистрация на носитель информации. В схему комплекса введены сигнализаторы неисправностей элементов оборудования, устройства постоянного и дистанционного контроля сопро-



Рис. 1. Мобильный комплекс оборудования МКТ 1420

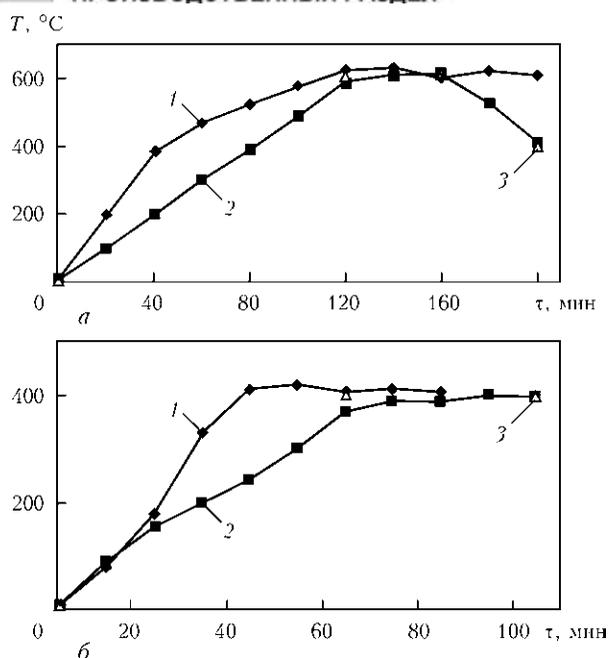


Рис. 2. Динамика местного нагрева T труб диаметром 1420×18 (а) и 325×9 мм (б) при работе комплекса МКТ 1420 в режимах ручного (1) и автоматического (2) управления относительно заданного режима (3)

тивления изоляции электрических цепей. Оборудование комплекса, включая силовые кабели для подключения нагревательных устройств, смонтировано на крытом прицепе с устройством буксировки на жесткой сцепке. Пульт управления, тепловентиляционная установка и рабочее место оператора-термиста размещены в утепленном отсеке. Для хранения нагревательных устройств организовано складское отделение. Технические средства обеспечивают безопасное обслуживание комплекса при питании от стационарных электрических сетей или передвижной электростанции.

Особенности работы комплекса МКТ 1420 можно проследить при местном нагреве труб диаметрами 1420×18 мм (сталь 17Г1С) и 325×9 мм (сталь 10). В качестве нагревательных устройств использовали гибкие электронагреватели (ГЭН) сопротивления. Каждая секция ГЭН изготовлена в виде плоской спирали из двух проводов, диаметром 3,6 мм. Количество витков в спирали равняется 34 шт. [3], максимальный ток секции — 120 А. При нагреве трубы диаметром 1420×18 мм восемь секций ГЭН стыковали в два пояса по четыре секции. Нагрев трубы диаметром 325×9 мм выполняли с помощью двух секций ГЭН. Тепловая изоляция места нагрева состояла из картона марки ТК-1 и прошивных теплоизоляционных матов МТПБ с оболочкой из кремнеземной ткани и наполнителем из ваты каолинового состава. Динамику нагрева труб отражают зависимости, приведенные на рис. 2. Режимы нагрева труб диаметрами 1420×18 и 325×9 мм заданы следующими параметрами: скорость 300 и 400 °С/ч; тем-

пература 600 и 400 °С; продолжительность выдержки 40 мин; длительность контролируемого охлаждения — 20 мин до температуры 420 °С (для трубы диаметром 1420×18 мм); допустимое отклонение температуры составляло ± 20 °С. В режиме ручного управления нагрев трубы диаметром 1420×18 мм выполнен до температуры высокого отпуска 620...650 °С (рис. 2, а) при суммарной мощности нагревательных устройств 59,5 кВт·А. Средняя скорость нагрева равнялась 300...320 °С/ч. В интервале 400...650 °С средняя скорость нагрева составляла 180 °С/ч, время нагрева трубы достигало значения температуры 200 °С (не более 20 мин). Это соответствует требованиям нормативных материалов к режимам нагрева при высоком отпуске сварных стыков трубопроводов [4] и технологии подогрева стыков труб перед сваркой.

В режиме ручного управления точность обработки заданного режима нагрева зависит от квалификации оператора-термиста. В данном случае отклонение температуры трубы диаметром 1420×18 мм от заданной в интервале 10...400 °С достигало 200 °С (рис. 2, а), трубы диаметром 325×9 мм — 170 °С (рис. 2, б). На этапе выдержки температура труб была выше заданной на 20...50 °С. При переводе комплекса в режим автоматического управления отклонение температуры трубы диаметром 1420×18 мм уменьшилось до $\pm 5...8$ °С, включая этап контролируемого охлаждения. Отклонение температуры трубы диаметром 325×9 мм в интервале 10...400 °С находилось в пределах ± 25 °С. На этапе выдержки температура трубы была ниже заданной на 5...10 °С.

При подготовке ГЭН или комбинированных электронагревателей сопротивления к проведению ТО особое внимание уделяли креплению на трубе секций нагревателей и их выводов. С целью сокращения трудоемкости подготовительных работ и повышения надежности нагревательных устройств в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны секционные нагреватели сопротивления (СНС). В базовой конструкции СНС нагревательный элемент, теплоизоляционный картон и несколько слоев ваты каолинового состава размещены в металлическом корпусе с вентиляционными отверстиями (рис. 3, а). Нагревательный элемент (провод из нихрома) выполнен по типу ГЭН. Провод и выводы защищены керамическими изоляторами типа ИКН-302 (рис. 3, б). В отличие от ГЭН в конструкции СНС используют съемные втулки, изготовленные из металлической ленты, с выступами, ограничивающими смещение изоляторов вдоль витков спирали. Ограничители удерживаются стяжным поясом спирали. Выводы нагревательного элемента жестко укреплены внутри корпуса и снабжены переходными керамическими втулками для подклю-

чения к токоподводящим кабелям. Предусмотрена установка замковых приспособлений на корпусе СНС для взаимной стыковки в пояс и крепления по периметру трубы.

Характеристики нагревателей СНС (исполнение 1–5) и ГЭН приведены в таблице. Конструкции СНС различались количеством проводов в спирали нагревательного элемента и устройством теплоизоляции. Характеристики СНС изучали при местном нагреве трубы из стали 17Г1С диаметром 1420×16 мм. По торцам трубы установили заглушки. Температуру нагрева измеряли в точках наружной и внутренней поверхностей трубы по центру спирали нагревательного элемента. При всех скоростях нагрева перепад температуры по толщине трубы не превышал 20 °С. Устройство ГЭН (изоляция картон и два слоя теплоизоляционных матов) обеспечило скорость нагрева выше, чем СНС-1 (изоляция картон) и СНС-2 (спираль из трех проводов, изоляция картон). При объемной мощности 5,94 В·А/см³ у нагревателей ГЭН, СНС-2 и СНС-3 увеличение скорости нагрева (СНС-3) получено путем введения дополнительной изоляции из картона и теплоизоляционной ваты в конструкцию. Дальнейшее повышение скорости нагрева достигнуто при увеличении мощности нагревателей (СНС-4, СНС-5).

Оценить эффективность конструкции СНС можно по соотношению $K = \Delta V / \Delta Q$, где ΔV — приращение скорости нагрева; ΔQ — приращение объемной мощности (рис. 4). Приращение объем-

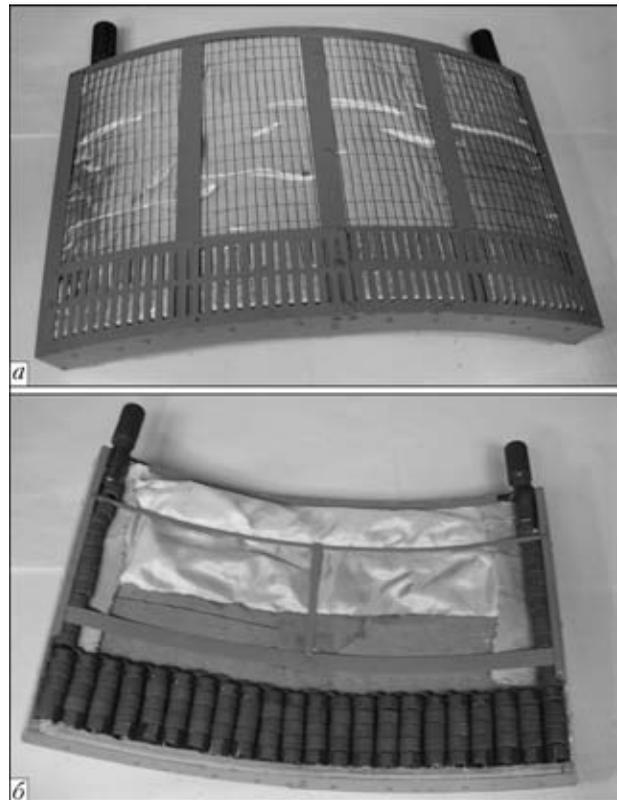


Рис. 3. Общий вид базовой конструкции СНС (а) и расположение нагревательного элемента (б)

ной мощности на 1,52 В·А/см³ привело к приращению скорости нагрева с применением ГЭН на 90, СНС-2 на 50 и СНС-3 на 110 °С/ч. Ток нагревательного элемента ГЭН, СНС-2 и СНС-3 сос-

Технические характеристики нагревателей

Параметр	ГЭН	СНС-1	СНС-2	СНС-3	СНС-4	СНС-5
Длина спирали нагревательного элемента, м	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Ширина спирали нагревательного элемента, м	0,08	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Количество витков спирали нагревательного элемента, шт.	22	22	22	22	22	22
Количество проводов в спирали, шт.	2	2	3	3	3	3
Диаметр провода спирали нагревательного элемента, мм	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
Площадь нагрева, см ²	580	720	720	720	720	720
Толщина стенки трубы, мм	18	16	16	16	16	16
Изоляция:						
картон + маты + маты	+	–	–	–	–	–
картон	–	+	+	+	+	+
картон + вата + картон	–	–	–	+	+	+
Напряжение на дуге, В	44,3	38	36	36	43	46
Ток, А	149	134	190	190	225	240
Мощность, В·А	6200	5090	6840	6840	9670	11000
Удельная мощность, В·А/см ²	10,7	7,07	9,5	9,5	13,4	15,3
Объемная мощность, В·А/см ³	5,94	4,42	5,94	5,94	8,39	9,58
Скорость нагрева в интервале 100...400 °С, °С/ч	780	690	740	800	1200	1370

Примечание. Здесь «+» обозначает наличие изоляции, «–» — ее отсутствие.

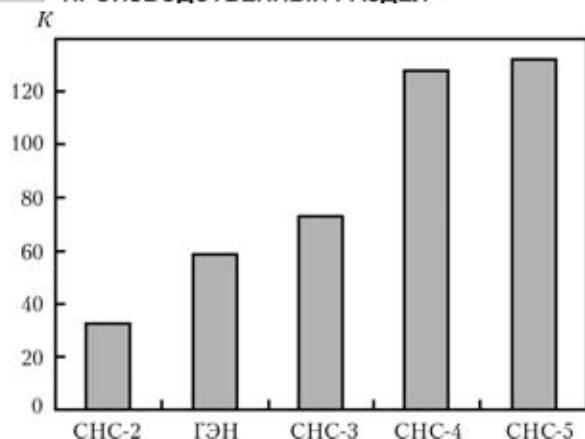


Рис. 4. Показатель эффективности различных нагревателей

тавлял не более 70 А на провод. Для СНС-4 характерна некоторая перегрузка по току (75 А на провод). При увеличении объемной мощности СНС-4 на $3,97 \text{ В}\cdot\text{А}/\text{см}^3$ приращение скорости нагрева равнялось $510 \text{ }^\circ\text{С}/\text{ч}$; для СНС-5 при $5,16 \text{ В}\cdot\text{А}/\text{см}^3$ оно составляло $680 \text{ }^\circ\text{С}/\text{ч}$. Однако высокая нагрузка СНС-5 по току (80 А на провод) может сократить продолжительность эксплуатации нагревательного элемента. Оптимальные характеристики имеются у СНС-3, в конструкции которого использованы спираль нагревательного элемента из трех проводов и комбинированная теплоизоляция из картона и ваты каолинового состава. Нагреватель обеспечивает высокую скорость нагрева и возможность ее приращения при незначительной перегрузке по току.

Количество витков спирали нагревательного элемента, размеры и количество секций СНС зависят от диаметра труб. Для местного нагрева труб диаметром 1420 мм с применением комплекса МКТ 1420 следует использовать 12 секций СНС-3, состыкованных в два пояса по шесть секций. К каждому каналу нагрева комплекса необходимо подключить по четыре секции в парал-

лель. Напряжение СНС-3 меньше номинального рабочего напряжения трансформаторов ТДФЖ, а суммарная мощность четырех СНС-3 не превышает 30 кВ·А, при этом суммарная потребляемая мощность комплекса составит менее 130 кВ·А. Такое подключение нагревательных устройств позволяет плавно корректировать температуру нагрева по периметру трубы и обеспечивает равномерную загрузку по току всех трех фаз питающей сети комплекса МКТ 1420.

Выводы

1. Показано, что мобильный комплекс оборудования МКТ 1420 в комплекте с ГЭН обеспечивает выполнение ТО сварных соединений трубопроводов диаметром до 1420 мм в соответствии с требованиями нормативных технических материалов и высокую точность отработки заданных режимов местного нагрева труб диаметром 325×9 и 1420×18 мм при работе комплекса в режиме автоматического управления.

2. Разработаны СНС для местного нагрева трубопроводов, которые отличаются более высокой эффективностью нагрева по сравнению с ГЭН сопротивлению и упрощают процесс подготовки нагревательного оборудования к эксплуатации.

1. *Ройтенберг С. Ш.* Термическая обработка сварных соединений трубопроводов. — М.: Энергоиздат, 1982. — 112 с.
2. *Письменный А. С., Пантелеймонов Е. А.* Комплекс оборудования для термообработки стыков труб в полевых условиях // Современные проблемы сварки и ресурса конструкций: Тез. стенод. докл. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2003. — С. 54–56.
3. *Хромченко Ф. А., Корольков П. М.* Технология и оборудование для термической обработки сварных соединений. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 200 с.
4. *ОСТ 36-50-86.* Трубопроводы стальные технологические. Термическая обработка сварных соединений. Типовой технологический процесс. — Введ. 01.01.87.

Mobile system MKT 1420 of the equipment for heat treatment of welded joints on pipelines is described. Its capabilities are shown for optimisation of the preset parameters of heating using flexible electrical resistance heaters. Peculiarities of design are considered, and comparative characteristics of sectional resistance heaters intended for heat treatment of welded joints and local heating of pipelines are presented.

Поступила в редакцию 19.12.2011