



ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ТОРЦОВ ТРУБ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СВАРКЕ НЕПОВОРОТНЫХ СТЫКОВ ТРУБОПРОВОДОВ

Л.М. ЛОБАНОВ¹, Н.М. МАХЛИН², В.К. СМОЛЯКОВ², В.Е. ВОДОЛАЗСКИЙ²,
В.Е. ПОПОВ², А.А. СВИРИДЕНКО³

¹ ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² Государственное предприятие «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины».
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: lectro@paton.kiev.ua

³ ПАО «ЧЕЗАРА». 14030, г. Чернигов, ул. Одинцова, 25. E-mail: mail@chezara.com

Приведены результаты разработок ИЭС им. Е.О. Патона и его специализированных подразделений по созданию отечественных образцов современного оборудования для подготовки под сварку торцов и кромок неповоротных стыков трубопроводов диаметром от 14 до 159 мм из сталей аустенитного и перлитного классов и высоколегированных сплавов при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики, включая энергоблоки атомных и тепловых электростанций, в химическом и энергетическом машиностроении, на предприятиях нефтегазового комплекса и в других отраслях промышленности. Рассмотрены особенности построения разработанных торцевателей для обработки труб диаметром от 14 до 76 мм с толщиной стенки до 7,0 мм и труборезов для обработки кромок V- и U-образных разделок неповоротных стыков труб диаметром от 76 до 159 мм с толщиной стенки до 12 мм и основных составных частей этого оборудования. Показано, что по сравнению с зарубежными аналогами разработанное отечественное оборудование обладает рядом существенных преимуществ, позволяющих увеличить общую производительность механической обработки и сократить время пребывания персонала в зоне вредного воздействия на человека опасных факторов внешней среды. Библиогр. 26, табл. 6, рис. 6.

Ключевые слова: атомная энергетика, неповоротные стыки трубопроводов, автоматическая орбитальная сварка, механическая обработка, пневмоприводы, торцеватели, труборезы, суппорты, резы

Введение. Трубопроводы объектов энергетики, нефтегазового комплекса, химических производств и других отраслей экономики в большинстве случаев являются базовыми элементами технологических цепей которые требуют выполнения значительного количества сварных соединений. Например, при монтаже одного энергоблока атомной электростанции (АЭС) с реактором водо-водяного типа необходимо выполнять не менее 120000 сварных соединений трубопроводов в виде, как правило, неповоротных стыков. Функции, которые выполняют трубопроводы энергоблоков АЭС, и их влияние на ресурс, надежность и ядерную безопасность, сложность условий их эксплуатации, при которой трубопроводы подвергаются воздействию (в большинстве случаев одновременно) высоких температур, повышенного давления, коррозионной и радиационной активности теплоносителя и других сред, затесненность в местах проведения сварочных работ и ограниченность доступа к этим местам обуславливают высокие требования к качеству, служебным свойствам и коррозионной стойкости сварных соединений таких трубопроводов [1–5]. Большинство аналогичных требований существует и в отношении трубопроводов объектов других отраслей экономики.

Многочисленными исследованиями и долголетней практикой доказано, что удовлетворение этих требований возможно только при условии обеспечения высокого качества подготовки торцов труб или кромок неповоротных стыков трубопроводов под сварку путем их механической обработки с помощью специализированного металлорежущего оборудования [3–8]. Однако из-за того, что такое оборудование ранее в Украине не разрабатывалось и промышленно не изготавливалось, до настоящего времени организации и предприятия отрасли атомной энергетики и других отраслей экономики Украины вынуждены применять оборудование аналогичного назначения, которое поступает в Украину исключительно по импорту и по своим свойствам может удовлетворять украинских потребителей лишь частично. Кроме того, именно отсутствие отечественного современного оборудования для подготовки неповоротных стыков трубопроводов под сварку является одним из главных факторов, препятствующих широкомасштабной автоматизации сварочных работ при монтаже, ремонте и модернизации объектов энергетики и других отраслей экономики Украины.

С учетом изложенных выше обстоятельств, разработка отечественных технологий, а также со-

здание и освоение отечественного промышленного производства современного оборудования для подготовки неповоротных стыков трубопроводов под сварку является весьма актуальной задачей.

Цель настоящей работы состоит в рассмотрении некоторых важных особенностей процессов механической обработки торцов труб и кромок неповоротных стыков трубопроводов под сварку и оборудования для реализации этих процессов, а также в представлении результатов исследований, опытно-технологических и опытно-конструкторских работ, проведенных в 2013–2014 гг. в ИЭС им. Е.О. Патона совместно с НИЦ СКАЭ в направлениях:

- определения и оптимизации требований к процессам подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов АЭС диаметром 14...219 мм и определения оптимальных параметров и режимов механической обработки торцов труб с толщиной стенки до 4,0 мм и кромок V- и U-образной разделок стыков труб с толщиной стенки до 12,0 мм;

- разработки конструктивных решений оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов диаметром 14...159 мм и разработки технической документации на опытные образцы соответствующего отечественного оборудования, подготовки их производства, изготовления, наладки, доводки, испытаний и опытно-промышленной проверки этих опытных образцов.

Исследования особенностей процессов подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов АЭС диаметром 14...219 мм. При проведении исследований и технологических работ изучалось влияние на качество сварных соединений точности подготовки кромок деталей трубопроводов, конструктивные элементы которых соответствуют требованиям ПН АЭ Г-7-009-089 и ОСТ 24.125.02-89, а также определялись области оптимальных режимов обработки резанием, которые должны обеспечивать соответствие подготовки кромок и поверхностей деталей трубопроводов требованиям действующих в отрасли атомной энергетики Украины нормативных документов.

Для исследований использовались образцы деталей трубопроводов из стали 08X18H10T номинальными диаметрами 18, 38 и 57 мм с номинальной толщиной стенки 2,5, 3,5 и 4,0 мм соответственно, а также из стали 20 номинальными диаметрами 108, 159 и 219 мм с номинальной толщиной стенки 5,0, 6,5 и 12,0 мм соответственно. Кромки используемых для исследований образцов деталей трубопроводов обрабатывали с помощью универсального токарно-винторезного станка 1М61 и фрезерного станка 6Р82Ш.

Торцы образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T обрабатывались таким образом, чтобы применительно к сварному соединению типа С-39 имитировать отклонения плоскости торца образца от плоскости, перпендикулярной продольной оси трубы, то есть условия нерегулярного зазора, и отклонения внутренних диаметров подлежащих сварке деталей трубопроводов от нормативных значений, то есть условия соединения деталей с разной толщиной стенки.

Обработку торцов образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T для условий нерегулярного зазора при выполнении сварного соединения типа С-39 осуществляли в соответствии с табл. 1.

Обработку торцов образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T для условий соединения деталей с разной толщиной стенки при выполнении сварного соединения типа С-39 выполняли в соответствии с табл. 2

Обработку кромок разделок стыков образцов деталей трубопроводов из стали 20 для имитации отклонений от линейных и угловых размеров, регламентированных ПН АЭ Г-7-009-089 и ОСТ 24.125.02-89 для сварных соединений типа С-42, осуществляли в соответствии с рис. 1 и табл. 3. Асимметрия углов скоса кромок разделок образцов деталей трубопроводов из стали 20 для имитации отклонений от нормативных значений для труб с номинальными размерами 108×5,0, 159×6,5, 219×12,0 мм составляла 4, 8, 12 угл. град.

В процессе обработки образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T и стали 20 контроль их линейных и угловых размеров выполня-

Таблица 1. Линейные и угловые размеры образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T для имитации нерегулярного зазора

Размеры трубы, номинальный диаметр×толщина стенки, (D×S), мм	Наибольшее значение нерегулярного зазора, δ, мм		
	0,3	0,5	0,7
	Угол отклонения от перпендикуляра к продольной оси трубы α, угл. град.		
18×2,5	1,23	1,72	2,88
38×3,5	0,55	0,92	1,29
57×4,0	0,36	0,60	0,84

Таблица 2. Линейные размеры образцов деталей трубопроводов из стали 08X18H10T для имитации условий соединения деталей труб с разной толщиной стенки

Размеры трубы, номинальный диаметр×толщина стенки, (D×S), мм	Разность внутренних диаметров соединяемых сваркой деталей (Δd), мм		
	0,010D	0,015D	0,020D
18×2,5	0,18	0,27	0,36
38×3,5	0,38	0,57	0,76
57×4,0	0,57	0,86	1,14

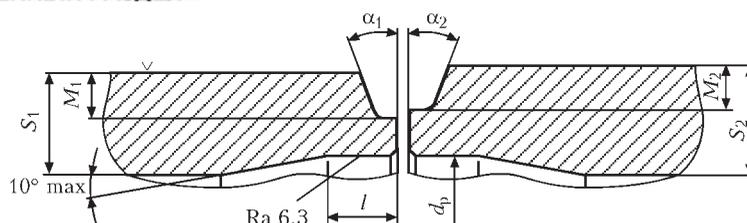


Рис. 1. Схема подготовки кромок разделки труб с толщиной стенки от 5,0 до 12,0 мм из стали 20 для имитации отклонений линейных или угловых размеров подлежащих сварке деталей от нормативных значений (условия асимметрии углов скоса кромок и условия соединения деталей труб с разным притуплением) при выполнении сварного соединения типа С-42

Т а б л и ц а 3 . Линейные размеры кромок разделок образцов деталей трубопроводов из стали 20 для имитации отклонений от регламентированных значений

Номинальные размеры трубы ($D \times S$), мм	Разделка кромок						
	Диаметр расточки d_p , мм		Толщина стенки в месте расточки, не менее	Притупление ($S - M$) при $S_1 = S_2$, мм			
	Номинальное значение	Наибольшее допустимое отклонение		$S_1 - M_1$	$S_2 - M_2$		
					$M_2 = M_1$	$M_2 = M_1 + 1$	$M_2 = M_1 + 1,5$
108×5,0	100	+0,23	2,7	2,3 ^{+0,4}	2,3 ^{+0,4}	3,3 ^{+0,4}	3,8 ^{+0,4}
159×6,5	149	+0,26	3,8	2,7 ^{+0,3}	2,7 ^{+0,3}	3,7 ^{+0,3}	4,2 ^{+0,3}
219×12,0	199	+0,30	8,8	3,0 ^{-0,3}	3,0 ^{-0,3}	4,0 ^{-0,3}	4,5 ^{-0,3}

ли с помощью стандартных средств измерений, в частности, штангенциркулей ШЦ-П-160 и ШЦ-П-250 по ГОСТ 166 (наибольшая погрешность измерений $\pm 0,07$ и $0,08$ мм соответственно), стенкомеров индикаторных С-10А и С-25 по ГОСТ 11358 (наибольшая погрешность измерений $\pm 0,02$ и $\pm 0,10$ мм соответственно), угломера с нониусом УТ мод. 127 по ГОСТ 5378 с диапазоном измерения $0 \dots 180$ угл. град. и наибольшей погрешностью измерений ± 2 угл. мин., набора щупов № 3 [9].

Обработанные в соответствии с табл. 1–3 образцы деталей трубопроводов диаметром 18 и 38 мм подвергали автоматической орбитальной сварке неплавящимся электродом в среде аргона (GTAW–сварке) способом автоопрессовки, для чего применяли автомат АДЦ 625 УЗ.1 для GTAW–сварки неповоротных стыков трубопроводов диаметром 18...42 мм. Для сварки образцов деталей трубопроводов диаметром 57 мм с толщиной стенки 4,0 мм способом последовательного проплавления использовали автомат АДЦ 626 УЗ.1 для GTAW–сварки неповоротных стыков трубопроводов диаметром 42...76 мм [10]. Образцы деталей трубопроводов с номинальными диаметрами 108 и 159 мм из стали 20 подвергали многопроходной GTAW–сварке с подачей присадочной проволоки и колебаниями неплавящегося электрода, для чего применяли автоматы АДЦ 628 УХЛ4 и АДЦ 629 УХЛ4 для GTAW–сварки неповоротных стыков трубопроводов диаметром 76...108 и 108...159 мм соответственно [11]. Образцы деталей трубопроводов с номинальным диаметром 219 мм подвергали многопроходной ручной ТИГ–сварке с пода-

чей присадочной проволоки, при этом применяли источник питания ИЦ 617 УЗ.1 для сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов, модуль силовой питания МПС-101, регулятор сварочного тока РДГ-201 УЗ.1 [12], горелку ABITIG GRIPP 26 (фирмы ABICOR BINZEL) с вольфрамовым электродом марки WT20 диаметром 3,15 мм и присадочную проволоку Св-08Г2С диаметром 1,6 мм.

Качество сварных соединений образцов деталей трубопроводов диаметром 18...159 мм контролировали визуальным, радиографическим и

Таблица 4. Оптимальные значения параметров режимов обработки деталей трубопроводов из стали 08Х18Н10Т

Наименование операции	Номинальные размеры трубы ($D \times S$), мм	Значения параметров режимов резания	
		Скорость резания, м/мин	Подача для чистового точения, мм/об
Подрезка и отрезка	18×2,5	10,0	0,05
Расточка внутреннего диаметра	38×3,5	12,0	0,06
	57×4,0	15,0	0,07
Формирование скоса кромки	108×5,0	10,0	0,08
Формирование притупления	159×6,5	15,0	0,10
Расточка внутреннего диаметра	219×12,0	20,0	

капиллярным способами [13]. По результатам выполнения нескольких серий опытных сварок установлено:

– при выполнении сварных соединений типа С-39 труб диаметром 14...76 мм с толщиной стенки до 4 мм отклонения плоскости торцов подлежащих обработке и последующей сварке деталей от перпендикулярности относительно продольной оси трубы не должны превышать 1,23 угл. град. для труб 18×2,5; 0,55 угл. град. для труб 38×3,5; 0,36 угл. град. для труб 57×4,0 и так далее, но во всех случаях должны быть не более 0,30 мм, так как при отклонениях, превышающих это значение, очень высока вероятность возникновения таких дефектов сварных соединений, как «проседания» шва, непровары, несплавления кромок, подрезы;

– отклонения внутренних диаметров подлежащих сварке деталей от нормативных значений при выполнении сварных соединений типа С-39 не должны превышать значения $0,01D_{\text{ном}}$, где $D_{\text{ном}}$ — номинальный внешний диаметр трубы, несоблюдение этого требования приводит к образованию таких дефектов, как нарушения регламентированной формы сварного шва, непровары, несплавления кромок, «утяжины» в корне шва;

– асимметрия углов скоса кромок разделок образцов деталей трубопроводов при выполнении сварных соединений типа С-42 не должна превышать 4 угл. град., при больших значениях асимметрии углов скоса характерны такие сплошные дефекты, как недопустимые нарушения формирования сварного шва, несплавления кромок и отдельных валиков, непровары в заполняющих проходах, «провисания» части шва возле кромки с завышенным углом скоса, подрезы в облицовочном шве;

– отклонения расточки внутренних диаметров от нормативных значений при выполнении сварных соединений типа С-42 не должны превышать +0,23 мм для труб 108×5,0; +0,26 мм для труб 159×6,5; +0,30 мм для труб 219×12,0, а разность между притуплениями обеих кромок не должна превышать 0,5 мм, поскольку сварные соединения деталей трубопроводов, у которых притупление одной из кромок отличается от притупления другой более, чем на 0,5 мм, склонны к таким дефектам корневого шва, как нарушения его регламентированной формы, непровары, «проседания» шва с одной его боковой стороны и «утяжины» или несплавления с другой, при этом в случае использования режимов сварки модулированным током даже при разности между притуплениями кромок до 0,75 мм дефекты корневого шва встречаются редко, а на некоторых образцах их вовсе не выявлено.

Кроме изучения влияния на качество сварных соединений точности подготовки под сварку кромок деталей трубопроводов, также проводили исследования по определению областей оптимальных режимов обработки резанием. Необходимость выполнения таких исследований обуславливается особенностями коррозионностойких сталей аустенитного класса (например, марки 08X18H10T), относящихся к основным материалам, которые используются для трубопроводов АЭС, а также особенностями процессов их механической обработки.

Одна из важных особенностей коррозионностойких сталей заключается в том, что их структура представляет собой твердый раствор аустенитного класса с гранцентрированной кубической решеткой [14]. Из всех видов обработки стали аустенитного класса наиболее тяжело поддаются механической обработке, что объясняется рядом факторов, главным из которых является склонность таких сталей к наклепу, при этом даже незначительные деформации вызывают сильное упрочнение металла. При обработке резанием большая вязкость сталей аустенитного класса вызывает образование длинной стружки, что также ухудшает условия обработки. Низкая теплопроводность коррозионностойких сталей обуславливает повышенную температуру в зоне резания и, вследствие этого, активизацию явлений адгезии и диффузии, а также интенсивного схватывания контактных поверхностей и разрушения рабочей части инструмента.

Экспериментальные и технологические работы по определению областей оптимальных режимов обработки резанием выполняли на образцах деталей трубопроводов из стали 08X18H10T номинальным диаметром 18, 38, 57, 108, 159 и 219 мм с толщиной стенки 2,5, 3,5, 4,0, 5,0, 6,5 и 12,0 мм соответственно, при этом использовали рекомендации, вытекающие из многолетних исследований в направлении механической обработки сталей аустенитного класса и имеющегося производственного опыта такой обработки [14]. Согласно этим рекомендациям, в случае тонкого внешнего продольного точения и подрезания деталей из стали 08X18H10T область оптимальных значений скорости резания ограничена диапазоном от 10 до 40 м/мин, при этом значения поправочных коэффициентов K_m и K_{mv} , первый из которых учитывает влияние на скорость резания физико-механических свойств заготовки из коррозионностойкой стали, а второй — влияние на скорость резания состояния поверхности этой заготовки, составляют 0,8 и 0,9 соответственно. Рекомендованные значения подачи для чистового точения деталей из жаростойких и нержавеющей сталей резцами



с твердосплавными пластинками — от 0,04 до 0,12 мм/об.

В результате исследований по определению областей оптимальных режимов обработки резанием деталей трубопроводов из стали 08X18H10T установлено, что оптимальные значения параметров режимов резания должны соответствовать приведенным в табл. 4.

Особенности построения нового оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов. Анализ информации о параметрах, характеристиках и построении лучших зарубежных образцов оборудования для обработки торцов и кромок подлежащих сварке деталей трубопроводов, например, производства фирм «PROTEM», «POLYSOUDE» (Франция), «ARC MACHINES» (США), «ESAB», «Atlas Copco» (Швеция), «Georg Fischer», «DEPRAG» (ФРГ), «ISCAR» (Израиль), ООО «Петербургская промышленная компания» (Россия), Aotai (Китай) [15–23 и др.], показывает, что этим аналогам присущи следующие основные недостатки:

- преимущественно внутреннее базирование, вызывающее определенные осложнения при осуществлении обязательного оперативного контроля геометрических размеров торцов труб или разделок кромок неповоротных стыков трубопроводов и существенно увеличивающее количество и продолжительность подготовительно-заключительных операций и, следовательно, продолжительность пребывания персонала в зоне радиоактивного загрязнения;

- отсутствие некоторых важных опций, необходимых для выполнения требований действующих в Украине ПН АЭ и других нормативных документов (например, торцеватели импортного происхождения не способны обеспечивать внутреннюю расточку труб);

- высокая стоимость и значительные эксплуатационные затраты.

Поэтому одной из главных задач при разработке отечественного оборудования для механической обработки торцов и кромок подлежащих сварке деталей трубопроводов являлось создание таких моделей оборудования, которые были бы свободны от недостатков, свойственных зарубежным аналогам, но вместе с тем были бы близки к этим аналогам по массе.

Ранее проведенными исследованиями и производственной практикой достоверно установлено, что достижение высокого качества механической обработки торцов труб или кромок разделок неповоротных стыков трубопроводов, их сборки и последующей сварки возможно при условии, если механизмы обработки, сборки, центрирования и осуществления сварки базируются по внешней поверхности трубы [24]. Именно такое базиро-

вание и заложено в основу построения моделей отечественного оборудования для подготовки неповоротных стыков трубопроводов под сварку, разработанных ИЭС им.Е.О.Патона совместно с НИЦ СКАЭ.

Любое устройство для механической обработки торцов труб или кромок разделок неповоротных стыков трубопроводов содержит такие основные составные части, как двигатель — электрический или пневматический привод, понижающий редуктор, планшайба с установленным на ней суппортом (суппортами), каждый из которых оснащен одним или двумя держателями резцов, механизм подачи резцов.

Двигатель является одним из самых важных и необходимых узлов оборудования для подготовки неповоротных стыков трубопроводов под сварку. С учетом назначения и особенностей такого оборудования и специфических условий его эксплуатации на АЭС наиболее целесообразным представляется исполнение двигателей этого оборудования в виде пневмоприводов.

Основой любого пневмопривода является пневмодвигатель. По сравнению с двигателями других типов пневмодвигатели имеют ряд преимуществ, среди которых можно отметить: значительно меньшие удельный объем, габаритные размеры и массу, чем у электродвигателей с аналогичными энергетическими параметрами (мощность и т.п.), способность надежно работать в условиях одновременного воздействия высокой температуры и влажности внешней среды, значительной вибрации и ударов, более высокие, чем у электродвигателей, показатели надежности, принципиальную возможность (в отличие от электродвигателей) обеспечивать выполнение требований безопасности при эксплуатации в опасных и особо опасных условиях, гораздо более простое и дешевое техническое обслуживание.

Наиболее высокой надежностью характеризуются получившие наибольшее распространение пневмодвигатели лопаточного типа [25], в которых момент вращения определяется площадью поверхности лопаток, подвергаемой давлению сжатого воздуха, и уровнем этого давления, что дает возможность регулирования скорости и момента вращения пневмодвигателя путем изменения давления поступающего в него воздуха.

Характерными особенностями пневмодвигателей лопаточного типа являются необходимость обеспечения конструктивной прочности и жесткости цилиндра — корпуса и высокой точности обработки его внутренних поверхностей, что, с одной стороны, требует изготовления заготовки корпуса ковкой или же с использованием других довольно технологически сложных способов формообра-

Таблица 5. Основные показатели пневмодвигателя машины ручной пневматической угловой ИП 21230

Наименование показателя	Номинальное значение
1. Мощность на выходном валу, Вт	1300 ₋₁₃₀
2. Частота вращения выходного вала на холстом ходу, об/мин	6400 ₋₆₄₀
3. Удельный расход воздуха, м ³ /мин	1,5±0,15
4. Давление сжатого воздуха, МПа (кгс/см ²)	0,63 (6,3)
5. Габаритные размеры, мм, не более:	
длина	350
ширина	164
высота	140
6. Масса, кг, не более	3,1

зования, а с другой — обязательного применения не только высокоточных металлообрабатывающих станков, а и специализированной технологической оснастки и нестандартных устройств для контроля линейных и угловых размеров, и выполнения требований к оптимальному профилю и точности изготовления лопаток ротора, к зазорам между кромками лопаток и внутренними поверхностями корпуса и к исполнительным размерам выходного отверстия. Отмеченные особенности изготовления пневмодвигателей обуславливают существенные первичные затраты на технологическое оборудование и оснащение, а также на подготовку производства, что может быть экономически оправдано только при условии крупносерийного или массового производства. Следует также принимать во внимание, что до настоящего времени отечественное производство пневмодвигателей отсутствует.

Учитывая упомянутые обстоятельства и стремление к унификации основных составных частей отечественного оборудования для механической обработки торцов и кромок подлежащих сварке деталей трубопроводов, представляется рациональным и экономически целесообразным использование серийных пневмодвигателей отработанных моделей пневмоинструмента, в частности, импортируемого из стран СНГ или Юго-Восточной Азии, например, пневмодвигателя машины ручной шлифовальной пневматической угловой ИП 21230. Основные показатели такого пневмодвигателя приведены в табл. 5.

Для обеспечения реальных режимов механической обработки планшайба оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов с установленным на ней режущим инструментом должна вращаться со скоростью, значительно меньшей по сравнению со скоростью вращения выходного вала пневмодвигателя, чего возможно достичь только путем соответствующей редукции. Это обуславливает обязательное наличие в составе оборудования для подготовки

под сварку неповоротных стыков трубопроводов специальной трансмиссии — редуктора.

Известны редукторы различных типов, основными из которых являются планетарные, геликоидальные и червячные. В сравнении с редукторами других типов планетарным редукторам присущи высокий коэффициент полезного действия (КПД), низкий момент инерции, способность воспроизведения больших передаточных чисел, а также наименьшие габаритные размеры относительно создаваемого редуктором момента вращения [8, 26]. Помимо этого, важными преимуществами планетарных редукторов являются возможность простого фланцевого подсоединения, нахождения вала редуктора в центре, свободный выбор пространственного положения. Отмеченные достоинства планетарных редукторов предопределили при построении моделей отечественного оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов выбор двуступенчатого однорядного редуктора именно этого типа, при этом во всех разработанных моделях торцевателей и трубореза используется не только один и тот же унифицированный пневмопривод, но и один и тот же унифицированный вариант планетарного редуктора.

На базе теоретических основ проектирования деталей машин и механизмов и имеющегося опыта разработки и конструирования оборудования для обработки металлов резанием с учетом свойств материалов, которые подвергаются механической обработке при подготовке под сварку деталей трубопроводов, условий такой обработки и требований к процессам подготовки неповоротных стыков трубопроводов АЭС диаметром 14...159 мм под их сварку разработаны кинематические схемы опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 (для труб диаметром от 14 до 38 мм с толщиной стенки до 5,0 мм) и ТРЦ 76 УЗ.1 (для труб диаметром от 38 до 76 мм с толщиной стенки до 7,0 мм) и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 (для трубопроводов диаметром от 108 до 159 мм с толщиной стенки до 15,0 мм), при этом выполнены кинематические и силовые расчеты трансмиссий и механизмов планшайб этих торцевателей и трубореза, расчеты прочности и долговечности элементов таких трансмиссий и механизмов, а также расчеты сил резания, что позволило осуществить выбор необходимых материалов.

На рис. 2 приведена кинематическая схема разработанных отечественных торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1, а на рис. 3 — кинематическая схема трубореза ТТЦ 660 УЗ.1.

Исследования и практика показывают, что одним из основных факторов, ограничивающих возможности обработки деталей трубопроводов в

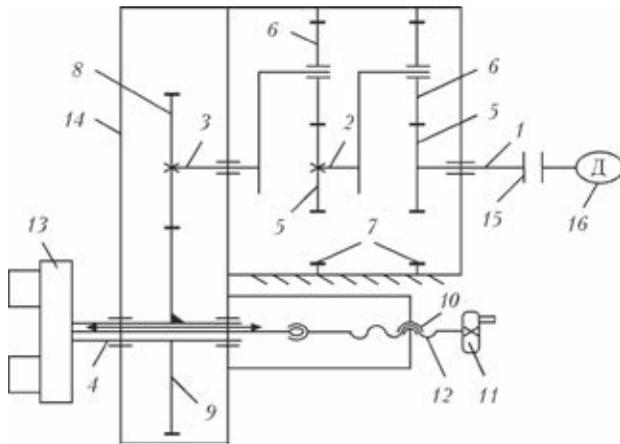


Рис. 2. Кинематическая схема торцевателей ТРЦ 38 У3.1 и ТРЦ 76 У3.1: 1–4 — валы кинематических звеньев; 5–9 — шестерни кинематических звеньев; 10 — гайка; 11 — маховичок; 12 — винт ходовой; 13 — планшайба; 14 — корпус; 15 — муфта; 16 — пневмодвигатель

зонах повышенной агрессивности окружающей среды и допустимую продолжительность пребывания в таких условиях производственного персонала, является интервал времени, который необходим для осуществления как собственно процесса резания, так и переналадки режущего инструмента. Поэтому один из путей повышения эффективности оборудования для обработки деталей трубопроводов АЭС заключается в таком построении планшайбы, которое предусматривает возможность одновременной обработки нескольких поверхностей за счет наличия в ее конструкции нескольких держателей резцов, что способствует максимально возможному сокращению длительности собственно процесса резания и переналад-

ки режущего инструмента. Исходя из этого, предложены технические решения, согласно которым на планшайбе каждого из торцевателей устанавливаются два диаметрально расположенных суппорта, что предоставляет возможность одновременной обработки торцов труб с помощью четырех резцов. При этом за один проход одновременно выполняется торцовка трубы, формируются внешняя и внутренняя фаски и осуществляется внутренняя расточка трубы. Аналогичные подходы характерны и для построения конструкции разъемного трубореза, планшайбу которого предложено выполнить в виде револьверной головки с двумя поперечными суппортами и одним расточным, что позволяет совмещать работу нескольких резцов различной конфигурации — например, в каждом из двух поперечных суппортов можно закрепить по одному отрезному резцу, или же в одном поперечном суппорте — отрезной, а в другом — проходной резец, причем этот резец может быть налажен для выполнения внешней фаски. Следует также отметить, что одновременное использование двух суппортов с установленными в них режущими инструментами позволяет существенно повысить надежность оборудования за счет уравновешивания изгибающих усилий, неизбежно возникающих в процессе резания и отрицательно влияющих на элементы кинематического звена, в состав которого входят выходной вал редуктора и зубчатая передача от редуктора к планшайбе.

Узлы реверсивной подачи торцевателей ТРЦ 38 У3.1 и ТРЦ 76 У3.1, обеспечивающие подачу вручную, выполнены по одной и той же конструктивной схеме, предусматривающей возможность перемещения в любом из двух возможных направлений планшайбы торцевателя вместе с закрепленными в ее ползунах (резцедержателях) резцами путем взаимодействия штока узла подачи со штоком планшайбы. В труборезе ТТЦ 660 У3.1 предусмотрена автоматическая подача резцов с помощью ходового винта, на котором установлено зубчатое колесо типа «звездочка». В момент завершения одного полного оборота планшайбы зубчатое колесо совершает вращательное движение на один свой зубец и фиксируется в этом положении с помощью подпружиненного шарика, в результате чего осуществляется соответствующее вращательное движение ходового винта и, вследствие этого, поступательное движение установленного на планшайбе ползуна с резцом на один шаг автоматической подачи. Условие поворота зубчатого колеса типа «звездочка» поперечного суппорта от одного фиксированного положения к следующему только на один зубец обеспечивается при помощи фиксатора поворота, жестко закрепленного на одном из неподвижных корпусов трубореза.

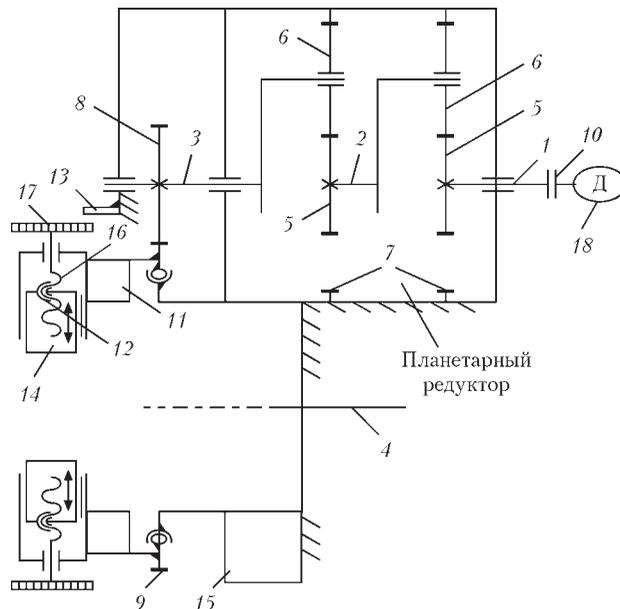


Рис. 3. Кинематическая схема трубореза ТТЦ 660 У3.1: 1–4 — валы кинематических звеньев; 5–9 — шестерни кинематических звеньев; 10 — муфта; 11 — планшайба; 12 — гайка; 13 — фиксатор поворота; 14 — суппорт; 15 — корпус; 16 — винт ходовой; 17 — колесо зубчатое; 18 — пневмодвигатель

Таблица 6. Основные параметры и характеристики опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 и их аналогов

Наименование параметра или характеристики	Модель				
	ТРЦ 38УЗ.1	ТРЦ 76УЗ.1	ТТЦ 660УЗ.1	Мангуст-2Т (Россия)	PROTEM PUS40 (Франция)
1. Наименьший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	14	38	108	45	43
2. Наибольший внешний диаметр обрабатываемой трубы, мм	38	76	159	120	219
3. Наибольшая толщина стенки обрабатываемой трубы, мм	5,0	7,0	15,0	5,0	16,0
4. Длина расточки внутреннего диаметра обрабатываемой трубы, мм, не менее	10	15	20	Опция расточки отсутствует	
5. Базирование	На внешней поверхности трубы			Внутреннее	
6. Способ подачи резца	Вручную	Вручную	Автоматически	Вручную	Вручную
7. Подача резца, мм/об, не более	0,20	0,15	0,10	0,20	0,20
8. Частота вращения планшайбы номинальная, об/мин	110	100	60	70	25
9. Расход сжатого воздуха во время холостого хода, м ³ /мин, не более	1,5	1,5	1,5	1,7	1,6
10. Габаритные размеры, мм, не более	350×140×170	370×160×175	520×500×435	470×400×120	400×246×246
11. Масса с приводом, кг, не более	9,5	12,6	19,3	9,5	16,0

Проведенными исследованиями особенностей процессов подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов и производственным опытом установлено, что точность механической обработки торцов труб и кромок разделок неповоротных стыков трубопроводов, а также чистота обработанных поверхностей во многом зависят от точности и повторяемости центрирования торцевателей и труборезов на обрабатываемых трубах. Анализ возможных конструктивных решений оборудования для подготовки под сварку показал, что обеспечение неизменности первоначального внешнего базирования моделей этого оборудования (преимущественно торцевателей) достижимо в случае, если их конструкция предусматривает наличие механизма самоцентрирования. Исходя из этого, в процессе разработки отечественного оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов предложено техническое решение*, согласно которому в состав устройства для обработки торцов и кромок входит неподвижная головка, содержащая механизм базирования по внешней поверхности трубы и неподвижный корпус, внутри которого установлена планшайба с размещенными на ней держателями резцов. Благодаря наличию, (по крайней мере, двух) быстродействующих подпружиненных фиксаторов, например, рычажного типа, неподвижный механизм базирования имеет возможность

быстрого соединения с неподвижным корпусом головки или отсоединения от этого корпуса. Кроме этого, головка содержит еще и механизм самоцентрирования, например, цангового типа, который соосно с продольной осью обрабатываемой трубы и продольной осью механизма базирования

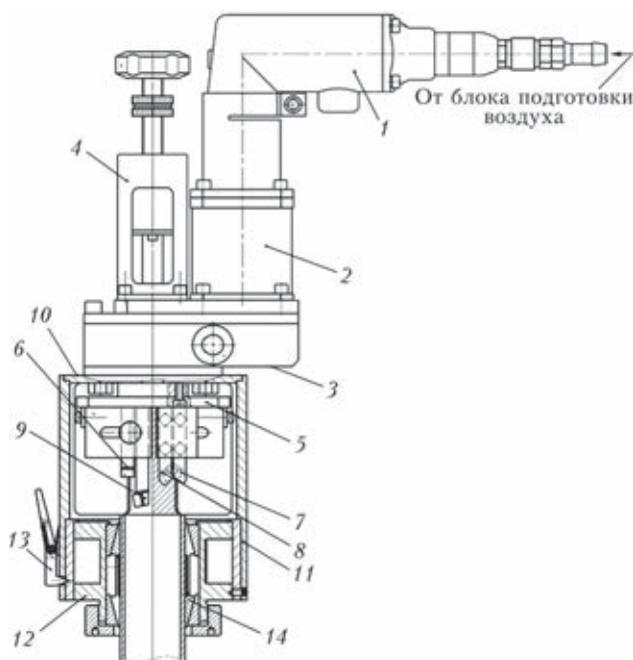


Рис. 4. Конструктивная схема торцевателя с механизмом самоцентрирования: 1 — привод (пневмодвигатель); 2 — редуктор; 3 — неподвижный корпус; 4 — механизм подачи; 5 — планшайба; 6–9 — резцы подрезной, проходные (для формирования внешней и внутренней фасок соответственно); 10 — головка; 11 — неподвижный корпус головки; 12 — механизм базирования; 13 — быстродействующие подпружиненные фиксаторы; 14 — механизм самоцентрирования

* Заявка UA 201503704 від 20.04.2015, МПК: В23К 9/235 (2006.01) Портативний пристрій для обробки торців та крайок труб при їх підготованні до зварювання / Л.М. Лобанов, В.К. Смоляков, В.С. Водолазський, Н.М. Махлін.



Рис. 5. Общий вид опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 (слева)

жестко соединен с последним. На рис. 4 приведена конструктивная схема торцевателя, построенного с использованием предложенного решения.

По разработанной ГП «НИЦ СКАЭ ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины» технической документации в ПАО «ЧЕЗАРА», г. Чернигов, были изготовлены опытные образцы торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1, общий вид которых приведен на рис. 5 и 6. Изготовленные опытные образцы оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов подвергались всесторонним испытаниям, включая общетехнические и функциональные. В НИЦ СКАЭ совместно со специалистами ОП «Атомремонтсервис» ГП «НАЭК «Энергоатом» были произведены технологические испытания. Результаты проведенных испытаний опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1 и ТРЦ 76 УЗ.1 и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 и их параметры и характеристики приведены в табл. 6.

Выводы

1. Рассмотрены вопросы влияния на качество сварных соединений точности подготовки под сварку кромок деталей неповоротных стыков трубопроводов АЭС диаметром от 14 до 159 мм из сталей аустенитного и перлитного классов, определены области оптимальных режимов механической обработки торцов и кромок этих трубопроводов, а также рассмотрены особенности построения оборудования для подготовки под сварку неповоротных стыков трубопроводов, разработаны, изготовлены и испытаны опытные образцы такого отечественного оборудования.

2. Результаты испытаний опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1, ТРЦ 76 УЗ.1 и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 свидетельствуют о том, что в сравнении с лучшими зарубежными образцами оборудования для подготовки под ручную или автоматическую сварку деталей неповоротных стыков труб они обеспечивают:

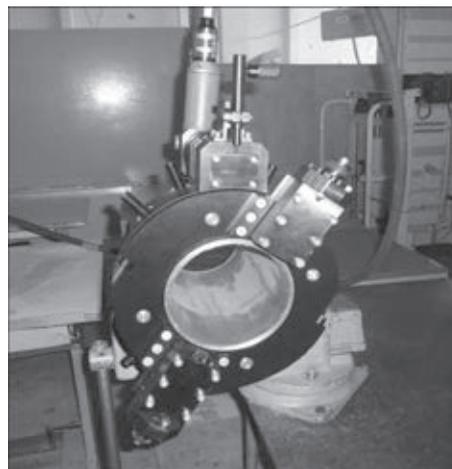


Рис. 6. Общий вид опытного образца трубореза ТТЦ 660 УЗ.1

– расширение технологических возможностей оборудования для подготовки под сварку деталей неповоротных стыков стальных трубопроводов;

– повышение производительности процессов механической обработки неповоротных стыков стальных трубопроводов за счет упрощения условий выполнения контроля внутренних геометрических размеров обрабатываемых труб;

– упрощение и удешевление обслуживания оборудования для подготовки под сварку деталей неповоротных стыков стальных трубопроводов за счет максимально возможного использования в этом оборудовании отечественных комплектующих изделий и материалов и существенного улучшения его ремонтпригодности;

– снижение не менее, чем в 1,5...2,0 раза себестоимости этой продукции;

– повышение качества и точности подготовки под сварку, в том числе автоматическую, деталей неповоротных стыков стальных трубопроводов.

Отмеченные преимущества разработанного отечественного оборудования касаются преимущественно торцевателей и достигаются за счет технических решений относительно их базирования на внешней поверхности обрабатываемых труб, обеспечения возможности одновременного торцевания, формирования внешней и внутренней фасок и расточки внутреннего диаметра этих труб, а также быстрого соединения/отсоединения неподвижного механизма базирования рабочей головки с ее неподвижным корпусом.

3. Разработка, изготовление и испытания опытных образцов торцевателей ТРЦ 38 УЗ.1, ТРЦ 76 УЗ.1 и трубореза ТТЦ 660 УЗ.1 и дальнейшее освоение их промышленного производства создают необходимые предпосылки для оснащения монтажных и ремонтных подразделений и предприятий отрасли энергетики и других отраслей современным отечественным оборудованием для подготовки под сварку деталей неповоротных стыков стальных трубопроводов, что обеспечит

устранение одного из главных факторов, препятствующих широкомасштабному внедрению как отработанных, так и новейших отечественных технологий автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов.

1. *Камерон И.* Ядерные реакторы / Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
2. *ПН АЭ Г-7-008–89.* Правила устройства и безопасной эксплуатации оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок / Госатомнадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 168 с.
3. *ПН АЭ Г-7-009–90, ПН АЭ Г-7-010–90.* Оборудование и трубопроводы атомных энергетических установок. Сварка и наплавка. Основные положения // Госатомнадзор СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 320 с.
4. *Сварка при монтаже оборудования и металлоконструкций реакторных установок / В.В. Рошин, В.А. Хаванов, Л.И. Акулов, В.А. Букаров // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. – М.: Издат АТ, 2002. – Т.1. – С. 81–118.*
5. *К вопросу об автоматизации сварки монтажных стыков трубопроводов атомных электростанций / В.И. Гриненко, В.В. Рошин, В.А. Хаванов, С.И. Полосков // Технология машиностроения. – 2008. – № 8. – С. 48–51.*
6. *Белкин С.А., Шефель В.В.* Автоматическая аргодуговая сварка при монтаже трубопроводов АЭС // Энергетическое строительство. – 1985. – № 11. – С. 43–46.
7. *Букаров В.А.* Технология дуговой автоматической сварки в защитных газах // Сварка в атомной промышленности и энергетике. Труды НИКИМТ. – М.: Издат АТ, 2002. – Т.1. – С. 149–210.
8. *Волков В.А.* Специальное металлорежущее оборудование // Технология машиностроения. – 2000. – № 5. – С. 6–10.
9. *Троицкий В.А.* Визуальный и измерительный контроль металлоконструкций и сооружений. – Киев: Феникс, 2012. – 276 с.
10. *Одно- и многопостовые системы для автоматической сварки неповоротных стыков трубопроводов атомных электростанций / Н.М. Махлин, А.Е. Коротынский, В.А. Богдановский и др. // Автомат. сварка. – 2011. – № 11. – С. 34–44.*
11. *Махлін Н.М., Коротинський О.С., Свириденко А.О.* Апаратно-програмні комплекси для автоматичного зварювання неповоротних стиків трубопроводів атомних електростанцій // Наука та інновації. – 2013. – Т.9, № 6. – С. 31–45.
12. *Электронные регуляторы сварочного тока для многопостовых сварочных систем / Н.М.Махлин, А.Е. Коротынский, В.А. Богдановский и др. // Свароч. пр-во. – 2004. – № 5. – С. 13–18.*
13. *Троицкий В.А.* Краткое пособие по контролю качества сварных соединений. – Киев: Феникс, 2006. – 320 с.
14. *Справочник технолога-машиностроителя / Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение–1, 2001. – Т.2. – 944 с.*
15. <http://www.protem.fr/>
16. <http://www.polysoude.com/>
17. <http://www.arcmachines.com/>
18. <http://www.esab.com/>
19. <http://www.atlascopco.com>
20. <http://www.georgfischer.com>
21. <http://www.deprag.com>
22. <http://www.iscar.com>
23. <http://www.pkfppk.ru/>
24. *Белоусов А.Н., Чернышов Г.Г.* Некоторые вопросы подготовки стыков труб под сварку // Свароч. пр-во. – 1977. – № 4. – С. 39–41.
25. <http://www.immerservice.ru/privod/pnevmodvigateli/>
26. *Проектирование механических передач: Учебно-справочное пособие для вузов / С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С.Козинцев и др. – М.: Машиностроение, 1984. – 560 с.*

Поступила в редакцию 18.06.2015



Ассоциация «Электрод»

ООО Промышленная
компания «ХОБЭКС электрод»



IX Международная конференция «Дуговая сварка. Материалы и качество»

Посвящается 50-летию Первой всесоюзной конференции
по сварочным материалам (1966 г.)
и 25-летию создания ассоциации «Электрод» (1990 г.).

17–20 мая 2016 г.

г. Волгоград

Тематика конференции

- Совершенствование дуговых процессов сварки
- Разработка инновационных сварочных материалов
- Технологии производства материалов и подготовка кадров
- Качество и конкурентоспособность материалов

<http://association-electrode.com>

Информационная поддержка: журнал «Автоматическая сварка».