

УДК 621.791.039+658.512.011.56:681.3

Разработка конструкции нового поколения сварочных головок серии ГНС для орбитальной сварки неповоротных стыков трубопроводов с использованием цифрового прототипирования.

С. А. Чичков.

Аннотация.

В статье рассматривается разработка ряда сварочных головок и вспомогательной аппаратуры для автоматизированной орбитальной сварки аргоно-дуговым методом (MIG/MAG) методом компьютерного цифрового прототипирования. Данное оборудование создано специально для решения задачи обеспечения качественной и быстрой автоматизированной сварки неповоротных стыков трубопроводов различного назначения из алюминиевых сплавов и сталей в аэрокосмической отрасли в монтажных и заводских условиях с гибкой настройкой параметров. Также описаны некоторые проблемы орбитальной сварки трубопроводов и методы их решения, технические характеристики головок, ряд нововведений и усовершенствований в их конструкции, а также перспективы и преимущества данного комплекса для нужд ракетно-космической отрасли.

Ключевые слова: орбитальная сварка; дуговая сварка в защитных газах; трубопроводные системы; автоматизированное проектирование; сварочные головки; цифровой прототип; трехмерное моделирование; Autodesk Inventor

1. Введение

Современный подход к созданию космических аппаратов с использованием двигателей на жидком топливе и теплообменных систем невозможен без применения разветвленных сетей трубопроводов, основным методом получения неразъемных

соединений которых является дуговая сварка в защитных газах. Так, например, в некоторых космических комплексах насчитывается до 20 000 стыков трубопроводов из алюминиевых сплавов и сталей. Поэтому требования качества и надежности, предъявляемые к таким комплексам, в полной мере относятся и к сварным соединениям трубопроводов.

2. Краткое описание проблематики орбитальной сварки трубопроводов

Многолетний опыт показывает, что применение ручной сварки сопряжено с нестабильностью качества сварных соединений, что особенно недопустимо в условиях агрегатной и общей сборки комплексов и их частей из-за ограниченной контролепригодности соединений.

Кроме того, соединения трубопроводов, выполненные ручной сваркой, обладают пониженным ресурсом работы.

Высокоэффективным методом получения качественных неразъемных соединений в монтажных условиях является автоматическая орбитальная сварка трубопроводов. Только ее применение способно обеспечить высокие требования по качеству сварных соединений. Однако автоматическая орбитальная сварка представляет сложную техническую задачу в части обеспечения стабильности формирования шва в различных пространственных положениях в условиях теплового насыщения металла трубопровода.

Еще более эта задача усложняется при сварке трубопроводов из алюминиевых сплавов из-за особых физико-химических свойств металла, таких как высокая жидкотекучесть, малая величина поверхностного натяжения, высокая химическая активность, а также из-за склонности к возникновению дефектов в виде пористости и окисных включений.

Установлено, что в процессе сварки на расплавленный металл сварочной ванны действует ряд сил, соотношение которых определяет условие формирования шва.

При орбитальной сварке это соотношение непрерывно меняется, обуславливая неравномерность формирования шва по периметру стыка и возможность образования дефектов шва, таких как вогнутость с внутренней стороны, подрезы, неравномерность усиления шва и ряд других, что приводит к резкому снижению механических свойств и вибростойкости сварного соединения.

При сварке в нижнем положении поверхность сварочной ванны занимает горизонтальное положение, что создает благоприятные условия для формирования шва, т.к. жидкий металл удерживается на свариваемой поверхности под действием силы поверхностного натяжения.

Сварка в вертикальном положении «на спуск» характеризуется тем, что направление силы тяжести жидкого металла и направление сварки совпадают, сварочная ванна подтекает под столб дуги, что уменьшает глубину проплавления. При сварке в вертикальном положении «на подъем» направление силы тяжести жидкого металла противоположно направлению сварки, сварочная ванна вытекает из-под столба дуги, увеличивая при этом глубину проплавления.

При сварке в потолочном положении поверхность ванны занимает горизонтальное положение, и металл ванны удерживается силами поверхностного натяжения и давления дуги.

Таким образом, можно утверждать, что равновесие сварочной ванны в различных пространственных положениях определяется в основном действием трех сил: силой давления дуги, силой поверхностного натяжения жидкого металла сварочной ванны и весом сварочной ванны.

Кроме того, задача качественного формирования шва усложняется при сварке трубопроводов диаметром до 3-25 мм, что обусловлено ускоренным теплонасыщением свариваемого соединения.

В 70-80 гг. прошлого века было создано оборудование для аналогичных целей, но к настоящему времени его элементная база и конструкция существенно устарели, имеют ряд существенных недостатков и не отвечают современным требованиям. Этот факт выявил необходимость в разработке нового поколения сварочных головок и сопутствующего оборудования, используя современные средства и методы разработки, новые материалы и технологии для удовлетворения потребностей отечественной ракетно-космической отрасли в области орбитальной сварки трубопроводных систем.

3.Современные методы решения задач и особенностиразработанного оборудования

С целью управления силами,действующими на сварочную ванну, разработан комплекс методов и средств, обеспечивающих стабильное формирование шва при орбитальной сварке. Среди них можно выделить следующие основные методы:

- стабилизация и автоматическое регулирование тепловложения в процессе сварки, осуществляемое по заданной программе в зависимости от объема сварочной ванны и ее положения в пространстве;

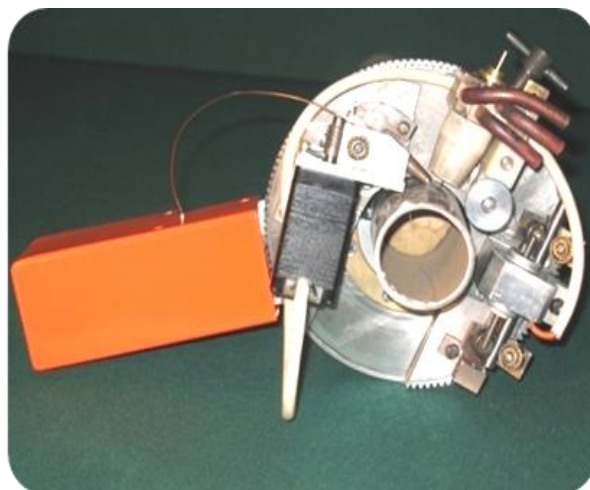
- сварка с автопрессовкой, основанная на сокращении объема жидкого металла в сварочной ванне и обеспечивающая формирование усиления шва с помощью дополнительных проходов без подачи присадочного металла;

-сварка с импульснымтепловложением, обеспечивающая наиболее оптимальную форму сварочной ванны.

Для реализации перечисленных методов орбитальной сварки трубопроводов из сталей и алюминиевых сплавов диаметром от 3 до 310 мм в отделении технологий сварки и пайки ФГУП «НПО «Техномаш» создано автоматизированное быстропереналаживаемое оборудование, включающее 12 типоразмеров сварочных головок, 4 варианта различной конструкции в зависимости от диапазона диаметров свариваемых труб (некоторые из них



представлены на рис.1), аппаратуру управления процессом сварки и источник



а)

б)

питания сварочной дуги (рис.6, рис.7).



г)

Рис.1. Фотографии опытных образцов сварочных головок

а) ГНС 14;б) ГНС 45;в) ГНС 70; г) ГНС 220

Трубосварочное оборудование обеспечивает реализацию следующего цикла сварки:

- 1) предварительная продувка магистралей и сварочной горелки инертным газом;
- 2) бесконтактное возбуждение сварочной дуги;
- 3) плавное нарастание тока дуги до значения, при котором происходит стабилизация размеров сварочной ванныи выдержка этого значения при сварке;
- 4) подача присадочной проволоки одновременно с началом движения сварочной горелки или на определенный промежуток времени позже;
- 5) плавное снижение до нуля сварочного тока в конце процесса сварки;
- 6) отключение подачи инертного газа через заданный промежуток времени после выключения дуги.

При этом обеспечивается стабилизация всех параметров режима сварки, включая напряжение на дуге, а также их значение, при необходимости по заданной программе.

Одним из основных элементов трубосварочного оборудования являются навесные головки, габаритные размеры и функциональные возможности которых определяют, как правило, возможность орбитальной сварки конкретных систем трубопроводов.

Типовые конструкции головок (в виде из цифровых прототипов) ГНС-14 (для сварки диапазона диаметров от 3 до 14 мм), ГНС-70(для сварки диапазона диаметров от 45 до 70 мм), ГНС-140 (для сварки диапазона диаметров от 105 до 140 мм), ГНС-220 (для сварки диапазона диаметров от 180 до 220 мм), представлены на рисунках (рис.2, рис.3, рис.4 и рис.5.).

Разработка цифровых прототипов сварочных головок, компьютерное моделирование, инженерные расчеты и подготовка КДпроизводились в программном пакетеAutodeskInventor.

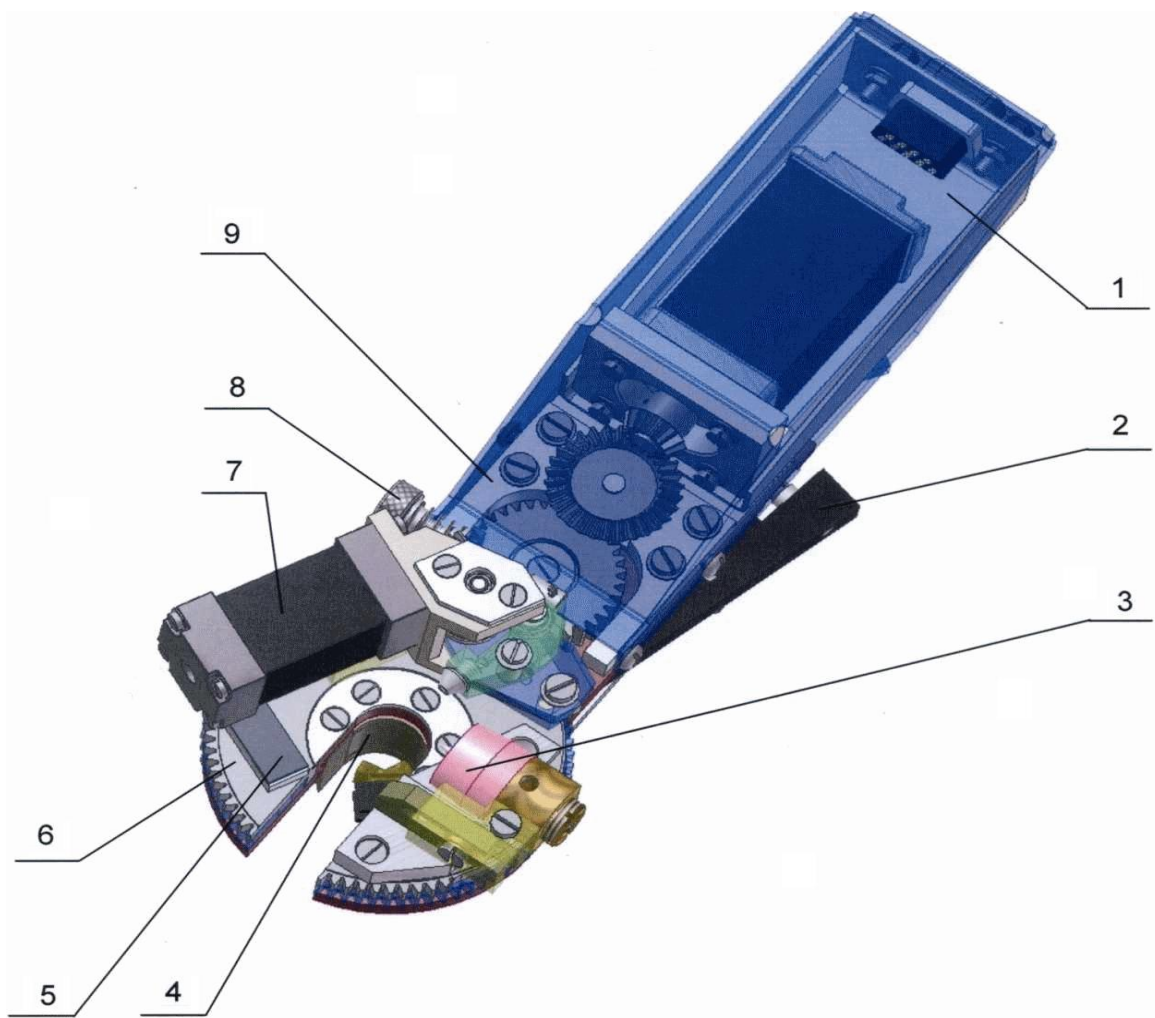


Рис.2. Конструкция сварочной головки ГНС 14

- 1 – привод вращения планшайбы**
- 2 – рычаг устройства крепления головки**
- 3 – горелка сварочная**
- 4 – сменный вкладыш**
- 5 – рукоятка фиксатора**
- 6 – планшайба**
- 7 – механизм подачи присадочной проволоки**
- 8 – винт регулировочный**
- 9 – основание**

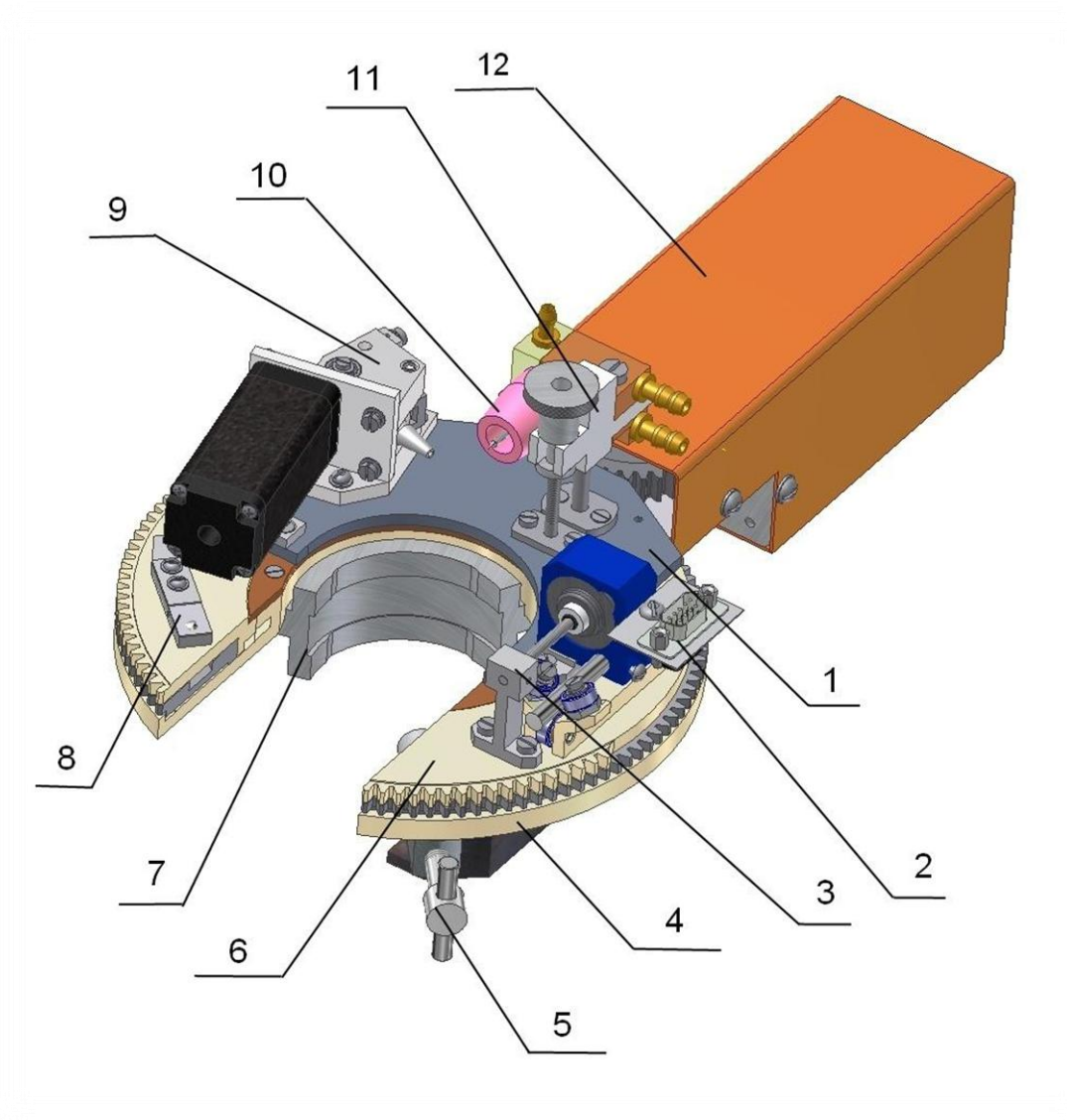


Рис.3. Конструкция сварочной головки ГНС70

- 1 – каретка**
- 2 – электроразъем**
- 3 – механизм слежения по дуге**
- 4 – основание**
- 5 – зажим**
- 6 –планшайба**
- 7 – сменный вкладыш**
- 8 – рукоятка фиксатора**
- 9 – механизм подачи присадочной проволоки**
- 10 – горелка**
- 11 - механизм поперечного перемещения горелки**
- 12 – привод вращения планшайбы**

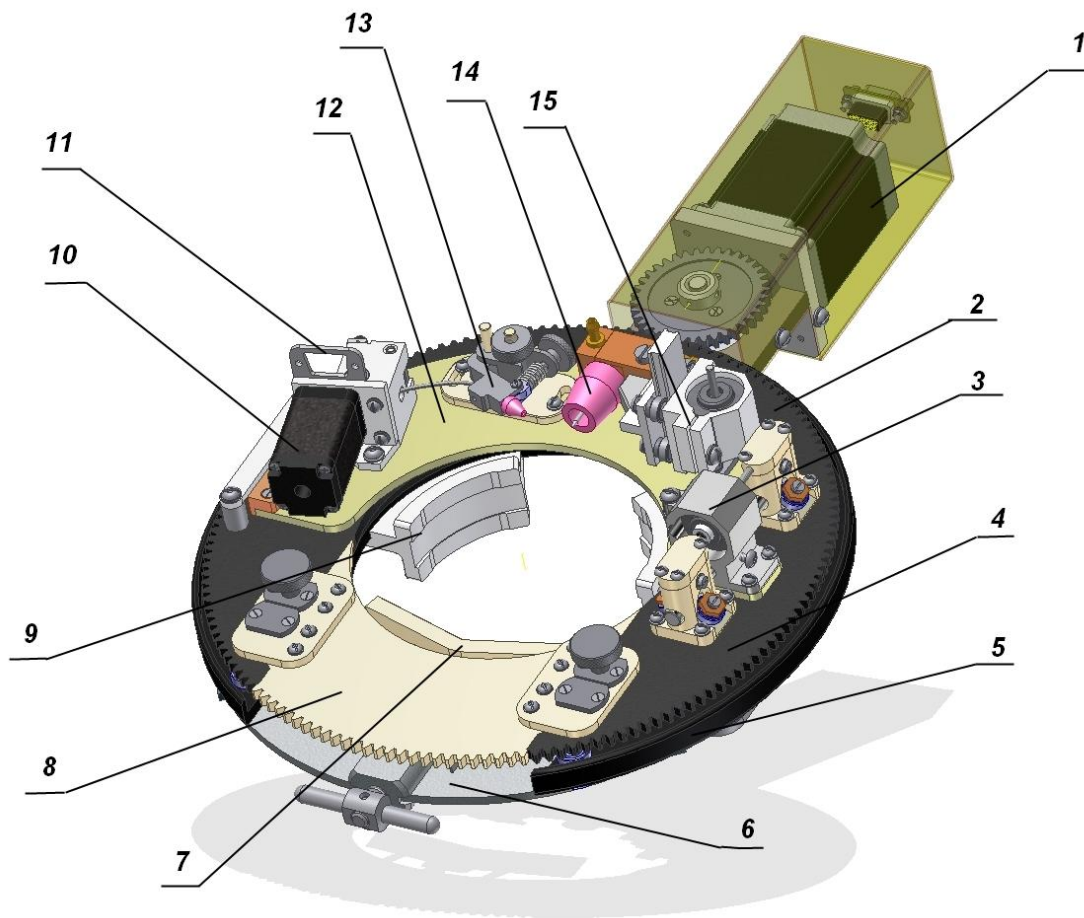


Рис.4. Конструкция сварочной головки ГНС 140

- 1-привод**
- 2-опора**
- 3-механизм слежения по дуге**
- 4-планшайба**
- 5-основание**
- 6-зажим**
- 7-сменный упор**
- 8-сектор**
- 9-сменный вкладыш**
- 10-механизм подачи проволоки**
- 11-электроразъем**
- 12-каретка**
- 13-корректор**
- 14- горелка**
- 15- механизм поперечного перемещения**

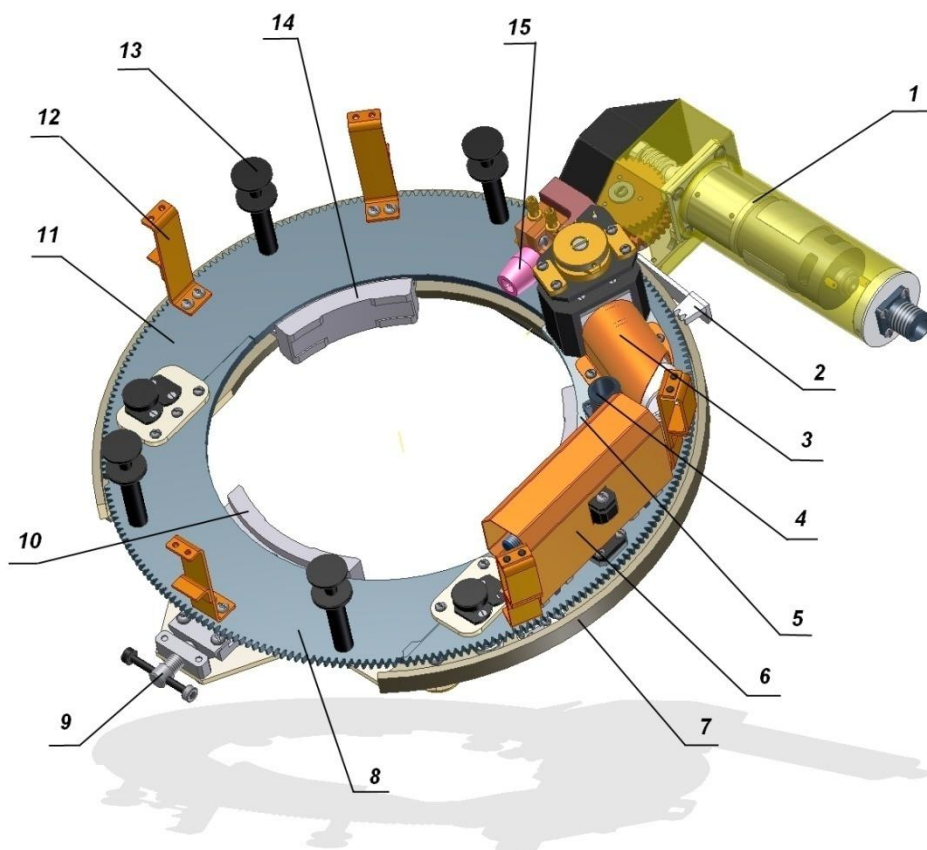


Рис.5. Конструкция сварочной головки ГНС 220

- 1-привод**
- 2-фиксатор планшайбы**
- 3-механизм поперечного перемещения**
- 4-электроразъем**
- 5-кронштейн**
- 6-механизм слежения по дуге**
- 7-основание**
- 8-сектор**
- 9-зажим**
- 10-сменный упор**
- 11-планшайба**
- 12-кронштейн кабельной системы**
- 13-стойка кабельной системы**
- 14-сменный вкладыш**
- 15-горелка**

Головки обладают минимальными габаритами и массой, что позволяет использовать их для орбитальной сварки в стесненных монтажных условиях.

Метод цифрового прототипирования при помощи Autodesk Inventor значительно ускорил разработку, позволил выбрать оптимальный вариант конструкции, легко вносить в нее изменения, уменьшить количество физических прототипов (опытных образцов оборудования) и добиться максимальной эффективности в работе сварочных головок. Параллельно с проектированием проводится симуляция работы разрабатываемого изделия на его цифровом прототипе, наложение рабочих нагрузок и изучение реакций материала на них, а также формируется наглядная визуализация изделия в работе.

Кроме того, после создания трехмерной модели Autodesk Inventor позволяет быстро создавать конструкторскую документацию на изделие и использовать прототип для генерации программ для станков с ЧПУ.

Снижение габаритов и массы головок достигнуто за счет применения шаговых двигателей, что позволило отказаться от мелко модульных планетарных редукторов. Кроме того, планшайбы головок изготовлены из титановых сплавов.

Технические характеристики головок приведены в табл. 1.

Таблица 1

	Головка ГНС-14	Головка ГНС-70	Головка ГНС-140	Головка ГНС-220
Диаметр свариваемых труб, мм	3-14	45-70	105-140	180-220
Установочная база, мм	39,5	70	64,5-194,5	64,5-194,5
Радиус вращающихся частей, мм	56	120	132	188
Максимальный сварочный ток, А	80	200	200	200
Диаметр вольфрамового электрода, мм	2,0	2,0; 3,0	2,0-6,0	2,0; 3,0
Скорость сварки, м/ч	6-14	3-12	3-8	3-8
Скорость подачи присадочной проволоки, м/ч	0-50	0-50	16-80	-
Габаритные размеры, мм	203x76x57	350x170x110	423x249x120	495x407x108
Масса, кг	1,2	3,5	5,2	11,7

Для питания сварочной дуги создан малоамперный инверторный источник МИИ-100 (рис.6).Источник питания обеспечивает возможность сварки на постоянном и переменном токах, в непрерывном и импульсном режимах.

Технические характеристики источника МИИ-100 представлены в табл. 2.



Рис.6. Фотография малоамперного источника питания МИИ-100

Таблица 2

Напряжение питающей сети, В	220±10 %
Частота питающей сети, Гц	50±1
Потребляемая мощность, кВт	2,5
Пределы регулирования сварочного тока, А (плавно)	1-100
Точность установки сварочного тока, А	1
Ток, А:	
- импульса	1-100
- паузы	1-100
Время, с:	
- импульса	0,1-10
- паузы	0,1-10
- нарастания сварочного тока и заварка кратера	1-20
Продолжительность включения при номинальном токе, %	60
Встроенный газовый клапан, осциллятор	есть
Цифровая индикация параметров	есть
Габаритные размеры, мм	370x320x150
Масса, кг	8,0

Для управления приводами сварочной головки и выполнения цикла сварки в автоматическом режиме используется программируемая микропроцессорная аппаратура управления «Гелиос» (рис.7). Она предназначена для управления процессом автоматической сварки в комплексе с источником питания и сварочной головкой.

Аппаратура управления обеспечивает возможность регулирования и управления скоростью сварки, скоростью подачи проволоки, напряжением на дуге, а также выполнение следующего цикла сварки:

- подача защитного газа до сварки (может обеспечиваться источником);
- зажигание дуги и нарастание тока (может обеспечиваться источником);
- включение скорости сварки и подачи проволоки с задержкой 0-10 с;
- программируемый по времени ступенчатый спад сварочного тока;
- отключение привода подачи проволоки;
- гашение дуги;
- отключение привода скорости сварки;
- подача защитного газа после сварки (может обеспечиваться источником).

Аппаратура управления позволяет осуществлять контроль параметров технологического процесса в режиме наладки и во время сварки.

Технические характеристики аппаратуры «Гелиос» представлены в табл. 3.



Рис.7. Фотография аппаратуры управления «Гелиос»

Таблица 3

Напряжение питающей сети, В	220± 10%
Частота питающей сети, Гц	50±1
Потребляемая мощность, Вт	300
Выходная мощность приводов, Вт:	
- скорость сварки	100
- подача присадочной проволоки	50
- поперечное перемещения головки	50
- слежение по длине дуги	50
Число ступеней программирования	20
Диапазон регулирования времени, с	1-25
Габаритные размеры, мм	410x318x108
Масса, кг	6

4. Главные особенности разработанного комплекса оборудования

Высокое качество шва, отсутствие дефектов.

Высокая производительность работы.

Применяемая автоматизированная гибкая сварочная технология с возможностью выбора необходимых параметров и управления процессом «на лету» благодаря современному блоку управления и инверторному источнику.

Головки имеют широкий диапазон скоростей сварки, цифровое программное управление.

Снижение габаритов и массы головок достигнуто за счет применения шаговых двигателей, что позволило отказаться от мелко модульных планетарных редукторов.

Головки обладают минимальными габаритами и весом, что позволяет использовать их для орбитальной сварки в стесненных монтажных условиях.

Планшайбы головок изготовлены из титановых сплавов, в конструкции изделия применяются алюминиевые сплавы.

Универсальность, охват широкого диапазона диаметров (3-310 мм).

Перспективное применение в самых разнообразных отраслях промышленности: авиакосмической, медицинской, пищевой и др.

Использование проектирования с применением технологии цифровых прототипов позволяет значительно сократить сроки разработки проекта, легко вносить в него изменения, и отказаться от большинства испытаний на физических образцах.

5. Заключение

Созданный типоразмерный ряд представляет собой новое поколение сварочных головок для орбитальной сварки трубопроводов пневмогидросистем (ПГС) летательных аппаратов. С их помощью можно сваривать в автоматическом режиме трубопроводы из сталей и алюминиевых сплавов диаметром от 3 до 310 мм.

Разработанный с применением современной технологии цифрового прототипирования, он предназначен для изготовления элементов ПГС систем «Протон», «Ангара», «Союз-2», «Русь-М», «Булава» из различных сталей (нержавеющих, высокопрочных), а также никелевых и алюминиевых сплавов в автоматическом режиме.

При этом, по сравнению с ручной сваркой, обеспечивается повышение качества швов в 1,5-2,0 раза с одновременным снижением трудоемкости их изготовления на 30-40% и повышением ресурса работы трубопроводов в 2-3 раза.

Изделия внедрены на ряде предприятий отрасли, в том числе НПО машиностроения, РКК «Энергия», ФГУП ГНП РКЦ "ЦСКБ-Прогресс", КБХА и др.

Библиографический список

1. В.И. Кулик, О.Е. Островский, О.М. Новиков, Е.М. Борисов. Орбитальная дуговая сварка трубопроводов. // Сварочное производство. 1992. №10, С.10-13
2. Белкин С.А., Астафурова Н.И., Гриненко В.И.. Сварка неповоротных стыков труб из стали X19H9T методом автоопрессовки // Сварочное производство. 1963. № 10, С.17-19.
3. Ищенко Ю.С., Павлов Ю.С., Гриненко В.И. Импульсная аргодуговая сварка неплавящимся электродом неповоротных стыков труб из стали X18H10T // Сварочное производство. 1965. №12, С.13-15.
4. Сварка трубопроводов сложной конфигурации // О.Е. Островский, В.И. Кулик, Г.М. Львов, Е.А. Манжос // ПТО №2, 1988, ЦНИИ «Поиск», С.26-31

Сведения об авторе

Чичков Сергей Александрович, инженер-конструктор ФГУП «Научно-производственное объединение «Техномаш», аспирант отраслевой аспирантуры при ФГУП «НПО «Техномаш».

3-й проезд Марьиной рощи, д.40, Москва, Россия, 127018;
Тел.: (495) 689-10-46; e-mail: libr2006@yandex.ru