

В. А. Галкин

А. А. Латышев

С. И. Полосков

УДК 621.791:621.643.1/.2

**В. А. Галкин, инж. (НПП «Технотрон»),  
А. А. Латышев, инж., Д. Г. Будревич, канд. техн. наук  
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»),  
С. И. Полосков, д-р техн. наук  
(ФГУ НУЦ «Сварка и контроль»  
при МГТУ им. Н. Э. Баумана)  
sales@tehnotron.ru**

## ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

*Рассмотрены вопросы обеспечения качества сварных соединений при механизированной сварке кольцевых стыковых соединений трубопроводов. Показано, что разработка оригинальных отечественных сварочных технологий, оборудования для механизированной сварки с применением быстродействующих источников и аппаратуры управления, оснащенной микропроцессорной техникой, позволяет повысить уровень сварочных работ при строительстве магистральных газопроводов.*

**Ключевые слова:** магистральный трубопровод, качество сварных соединений, механизированная сварка, плавящийся электрод, полуавтомат, управляемый каплеперенос.

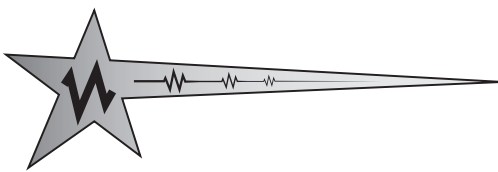
**Введение.** Существенным резервом обеспечения стабильно высокого качества сварных соединений с одновременным повышением производительности труда является расширение объемов и областей применения механизированной сварки плавящимся электродом [1]. Такие тенденции характерны для современного мирового сварочного производства, когда механизированная и автоматическая сварка постоянно вытесняют ручную дуговую сварку. При этом доля механизированной сварки в общем объеме сварочных работ превышает 50 – 55 %, а в базовых отраслях промышленности достигает 75 – 85 % [2]. Однако, несмотря на то, что механизированную сварку в нашей стране промышленно применяют более 50 лет, ее доля в строительстве магистральных газопроводов не превышает 20 % общего объема сварочных работ.

Анализ проблем механизации сварочных работ показал, что основными препятствиями расширения областей применения механизированной сварки при строительстве и ремонте газопроводов являются дефекты формирования корневого слоя шва в потолочном положении и замыкания швов при заполнении разделки, грубая чешуйчатость и западание валиков швов при выполнении облицовочных проходов, повышенное разбрызгивание электродного металла, отсутствие высоконадежного сварочного оборудования. Поэтому для обеспечения стабильно высокого качества сварных соединений процессы механизированной сварки плавящимся электродом и оборудование для их реализации нуждаются в дальнейшем развитии и совершенствовании.

Цель работы – обобщение результатов разработки современных отечественных технологий и создания оборудования для механизированной орбитальной сварки магистральных газопроводов.

**Управление переносом электродного металла через дуговой промежуток.** Одним из самых эффективных способов уменьшения разбрызгивания является нестационарное энергетическое воздействие на каплю электродного металла и сварочную ванну [3]. Систематическими исследованиями и разработкой методов управления каплепереносом в СССР начали заниматься в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого века. Однако отсутствие на тот момент быстродействующих источников сварочного тока, последующая политико-экономическая перестройка общества не позволили завершить начатые работы, поэтому полуавтоматы с цифровым управлением и быстродействующими инверторными источниками сварочного тока начали применять только в последнее десятилетие. Подобное оборудование не требует применения специальной техники сварки при смене пространственного положения, изменении вылета электрода и других условий сварки, что позволяет сварщику сосредоточиться исключительно на ведении горелки вдоль шва. Однако из-за данных проблем в настоящее время на отечественном рынке представлено в основном импортное цифровое оборудование для механизированной сварки. К изготовлению оборудования с цифровым управлением ряд отечественных предприятий только приступил.

Вместе с тем, для разработки технологий и создания конкурентного, полностью отечественного оборудования для меха-



низированной сварки плавящимся электродом, создан необходимый технологический задел в виде исследования особенностей перехода капли электродного металла в ванну при сварке в различных пространственных положениях [4, 5], что позволяет разработать не только технологии сварки, устойчивые к возмущениям внешней среды, но и необходимое оборудование с использованием последних достижений в области системотехники и новых возможностей современной элементной базы.

**Современные технологии механизированной орбитальной сварки трубопроводов.** Традиционно процесс сварки неповоротных кольцевых стыковых соединений труб включает сварку корневого слоя шва, «горячего прохода», заполняющих, корректирующих и облицовочного слоев шва [6]. На торцах труб поставщики в заводских условиях выполняют разделку кромок под сварку. Характерная форма разделки приведена на рис. 1, а ее параметры – в табл. 1.

Проведенный комплекс исследований позволил рекомендовать комбинированную технологию механизированной орбитальной сварки трубопроводов, соответственно которой сварку корневого слоя шва выполняют сплошной проволокой за два полуоборота плавящимся электродом в CO<sub>2</sub> или смеси газов с управляемым каплепереносом электродного металла (УКП), а сварку «горячего прохода», заполняющих, корректирующего и облицовочного слоев шва – порошковой проволокой. Предусмотрен вариант технологии, при котором сварку корневого слоя шва выполняют ручной дуговой сваркой.

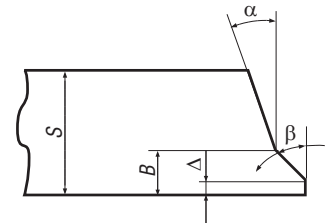
**Параметры ориентировочных режимов сварки корневого слоя шва сплошной проволокой L-56 методом УКП с управляемым каплепереносом электродного металла**

Направление сварки.....	На спуск
Тип/Полярность тока.....	Постоянный/Обратная
Диаметр электродной проволоки, мм.....	1,0; 1,2
Базовый ток, А.....	40 – 60
Максимальный ток в микроцикле, А.....	250 – 270
Скорость подачи проволоки, мм/с, в положении:	
12.00 ч – 1.00 ч.....	40 – 45
1.00 ч – 6.00 ч.....	50 – 55
Скорость сварки, мм/с.....	≤ 5,0
Скорость колебаний электрода, мм/с.....	12 – 18
Амплитуда колебаний электрода, мм.....	≤ 4,0
Защитный газ.....	100 %-ный CO <sub>2</sub>
Расход защитного газа, л/мин.....	20 – 25

В процессе сварки вылет электродной проволоки должен составлять 8 – 20 мм. Так как перемещение горелки на спуск от нижнего до потолочного положения совпадает с движением стрелки по циферблату часов начиная от 12.00 ч до 6.00 ч, то для качественного формирования корня шва в положении 12.00 ч – 1.30 ч сварку необходимо выполнять с небольшими поперечными колебаниями без задержки на кромках, а в положе-

нии 1.30 ч – 6.00 ч – без колебаний электрода в разделке.

В процессе сравнительной оценки производительности различных вариантов сварки установлено, что сварка с УКП, хотя и обеспечивает определенное снижение требований к качеству



**Рис. 1. Форма и параметры заводской разделки кромок труб**

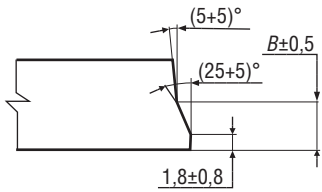
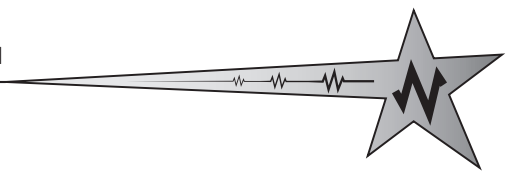
**Таблица 1**

Толщина стенки S, мм	Параметры разделки кромок			
	B, мм	α, град	β, град	Δ, мм
18,0 - 19,0	9 ± 0,5	16 – 5	35 – 5	1,8 ± 0,8
19,0 - 21,5	10 ± 0,5			
21,5 - 32,0	12 ± 0,5			

сборки кольцевых стыковых соединений при сварке корневого слоя шва, несколько уступает по производительности традиционной сварке плавящимся электродом при заполнении разделки. Установлено существенное повышение производительности процесса сварки в защитных газах при заполнении разделки с использованием порошковых проволок. Для исключения несплавлений по кромкам разделки сварку целесообразно выполнять с колебаниями электрода. Скорость колебаний составляет 2 – 28 мм/с с небольшими задержками у кромок. При этом сварку выполняют углом вперед, при этом при перемещении горелки от 6.00 ч к 12.00 ч угол наклона горелки уменьшают от 5° до 0°.

**Параметры ориентировочных режимов сварки газозащитной порошковой проволокой FilArc в стандартную разделку**

	Первый заполняющий слой (горячий)	Заполняющие слои	Облицовочный слой
Направление сварки.....	На подъем		
Тип/Полярность тока.....	Постоянный/Обратная		
Скорость подачи проволоки, мм/с.....	120	120	100
Напряжение дуги, В.....	20 – 22	22 – 23	20 – 22
Вылет электродной проволоки, мм.....		8 – 15	
Скорость сварки, мм/мин.....	2,8 – 3,0	2,6 – 2,8	2,0 – 2,2
Амплитуда колебаний электрода, мм.....	Устанавливается в зависимости от угла разделки		
Время задержки электрода на кромке, с.....	≤ 0,4		
Угол наклона электрода (вперед), град.....	0 – 5		
Защитный газ.....	80 % Ar + 20 % CO <sub>2</sub>		
Расход газа, л/мин.....	25 – 30		



**Рис. 2. Форма специальной щелевой разделки кромок**

Для увеличения производительности наплавки, сокращения объемов поставки защитных газов, а следовательно, транспортных издержек во многих случаях заполнение разделки и сварку облицовочного слоя целесо-

**Таблица 2**

Толщина стенки, мм	Диаметр порошковой проволоки, мм	Число слоев (проходов)		
		Заполняющие	Корректирующий	Облицовочный
6	1,7	-	1	1
8		1 – 2		
10		2 – 3		
12		3 – 4		
14	2,0	3 – 4	1	1 – 2
16		4 – 5		2 – 3
18		5 – 6		3 – 4
20		6 – 8		
22				

образно выполнять самозащитной порошковой проволокой. При этом для обеспечения стабильно высокого качества сварных соединений необходимо учитывать ряд следующих технологических особенностей формирования швов. В частности, для улучшения формирования швов, в потолочном положении следует несколько увеличивать вылет электродной проволоки из мундштука (до 25 – 30 мм в положении 4.30 ч – 6.00 ч). В процессе сварки следует изменять угол наклона горелки углом назад от 10° до 35° в положении 12.00 ч – 4.30 ч и от 25° до 0° в положении 4.30 ч – 5.30 ч с переходом к сварке углом вперед от 5° до 10° в положении 5.30 ч – 6.00 ч, а также, в зависимости от пространственного положения сварочной ванны, скорость подачи электродной проволоки. Следует отметить, что в положении от 6.00 ч до 5.00 ч скорость сварки должна быть минимальной (1,6 – 1,8 мм/с), затем к положению сварки 4.00 ч – 2.00 ч она плавно увеличивается до 3,2 – 3,6 мм/с, однако к положению 12.00 ч. (нижнее положение) вновь несколько уменьшается (до 2,8 – 3,0 мм/с). При сварке проволокой диаметром 2,0 мм скорость подачи проволоки и напряжение дуги должны быть на 3 – 10 % больше, чем при сварке проволокой диаметром 1,7 мм.

При сварке стыков труб со стенкой толщиной более 12 – 14 мм заполняющие слои, начиная со второго (третьего – при использовании проволоки диаметром 2,0 мм) необходимо выполнять по методу «слой за два прохода» с дальнейшим увеличением числа проходов в слое. При этом ширина прохода в слое не должна превышать 4 – 5 диаметров применяемой проволоки.

**Параметры ориентировочных режимов при сварке самозащитной порошковой проволокой Innershield NR-208 Special в стандартную разделку**

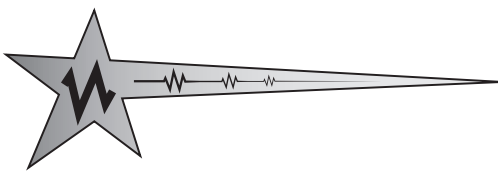
	Первый заполняющий слой (горячий)	Заполняющие слои	Корректирующий слой	Облицовочный слой
Направление сварки .....	На спуск			
Тип/Полярность тока .....	Постоянный/Обратная			
Диаметр проволоки, мм .....	1,7; 2,0			
Скорость подачи проволоки, мм/с.....	32 – 42	34 – 47	35 – 38	32 – 38
Напряжение дуги, В .....	18 – 19	18 – 21	18 – 19	17 – 18
Вылет электрода, мм.....	12 – 30			
Скорость сварки, мм/с .....	1,6 – 3,6			
Амплитуда колебаний электрода, мм.....	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 12
Угол наклона электрода, град .....	От 35 (назад) до 0 (вперед)			

Ориентировочное число слоев при сварке неповоротных стыков труб самозащитной проволокой приведено в табл. 2.

Одним из рациональных путей повышения производительности механизированной сварки является использование специальной зауженной (щелевой) разделки свариваемых кромок стыков труб (рис. 2).

Если угол разделки кромок обычного стыка равен (10±20)°, то угол наклона кромок зауженной разделки не превышает (2±7)° (B – см. табл. 1). Уменьшение ширины сечения стыка позволяет в 2 – 3 раза, в зависимости от толщины стенки трубы, снизить объем наплавляемого металла, а также сварочные деформации и перегрев основного металла. Поэтому щелевую разделку рекомендуется применять при сварке трубопроводов со стенкой толщиной более 12 – 14 мм. Щелевую разделку в большинстве случаев заваривают методом "от кромки до кромки", т. е. один слой за один проход. Вместе с тем, при сварке толстостенных трубопроводов при выходе из разделки возможно выполнение двух проходов в слое. Сварку, как и при заполнении традиционной широкой разделки, выполняют на спуск.

Однако при механизированной сварке самозащитной порошковой проволокой неповоротных стыков труб в зауженную разделку возникает ряд проблем, связанных с увеличенным размером вылета электрода при заполнении донной части разделки, блужданием дуги из-за остаточной деформации проволоки в вылете, вероятностью возникновения несплавлений по кромкам разделки, более проблематичным удалением шлака



между «горячим проходом» и первым заполняющим слоем шва, а также необходимостью более жесткого контроля параметров сварки во избежание появления пор. Со схожими проблемами сталкиваются и за рубежом [7, 8]. Поэтому, хотя приемы сварки в заузенную разделку во многом схожи со сваркой в стандартную разделку, их все же следует выбирать более щадящими, а скорость сварки поддерживать несколько большей, что связано с необходимостью получения соизмеримого по толщине слоя при его меньшей ширине. В этой связи сварщик, выполняющий сварку самозащитной порошковой проволокой, должен иметь более высокую квалификацию и больший опыт работ, чем при сварке в CO<sub>2</sub> или газозащитными порошковыми проволоками.

**Параметры ориентировочных режимов сварки самозащитной проволокой Innershield NR-208 Special в щелевую заузенную разделку**

Первый за- полня- ющий слой (горячий)	Заполня- ющие слои	Корректи- рующий слой	Облицо- вочный слой	Параметры	
				Направление сварки	Тип / Полярность тока
				На спуск	Постоянный/Обратная
Скорость подачи проволоки, мм/с	34 – 40	34 – 44	32 – 36	34 – 38	
Скорость сварки, мм/с		1,6 – 3,6			
Напряжение дуги, В	19 – 20	19 – 21	17 – 19	18 – 19	
Вылет электро- да, мм		12 – 30			
Амплитуда коле- баний электрода, мм		≤ 8			
Угол наклона электрода, град		от 35 (назад) до 0 (вперед)			

Ориентировочное число заполняющих и облицовочных слоев шва при сварке труб в щелевую разделку кромок самозащитной порошковой проволокой диаметром 2,0 мм приведено в табл. 3.

Проведенные исследования разработанных технологий механизированной сварки магистральных трубопроводов подтвердили воспроизводимость стабильно высокого качества сварных соединений.

**Реализация выбранных решений в оборудовании для механизированной сварки.** Специфика сварочных работ при строительстве и ремонте газопроводов показала преимущества создания сварочных полуавтоматов в виде функционально делимых структур: сварочного источника, блока подачи проволоки, горелки. Проведенный анализ областей применения сварочного оборудования на потенциально опасных производствах показал, что разрабатываемый полуавтомат должен соответ-

Таблица 3

Толщина стенки, мм	Диаметр порошковой проволоки, мм	Число слоев (проходов)		
		Заполняющие	Корректирующий	Облицовочный
≤ 12	1,7	1	1	1 – 2
14	2,0	2 – 3		
16		4 – 5	2 – 3	
18				
20		3 – 4		
22				

ствовать следующим требованиям: обеспечивать как естественный каплеперенос электродного металла, так и управляемый с необходимым воздействием на каплю; устойчиво работать не только от стандартной сети, но и от автономных источников энергии; иметь конкурентоспособные массогабаритные характеристики и стоимостные показатели.

Для обеспечения поставки качественной продукции с минимальными затратами и в сжатые сроки при создании механизированного оборудования применен блочно-модульный принцип конструирования [9] с широким использованием типовых конструкторских решений, основанных на принципах унификации и стандартизации. Данный подход уже доказал свою высокую эффективность при разработке оборудования для автоматической орбитальной сварки плавящимся [10] и неплавящимся [11] электродами.

**Многофункциональный сварочный источник.** В настоящее время наилучшими технологическими возможностями и массогабаритными характеристиками обладают инверторные сварочные источники, основой которых являются IGBT-транзисторы либо IGBT-модули со встроенными элементами управления. Структурная схема основных модулей инверторного источника приведена на рис. 3.

Выпрямленное через входной выпрямитель с емкостным накопителем энергии 1 напряжение питающей сети с помощью инверторного модуля 2 с трансформатором 3 преобразуется в высокочастотные импульсы. Энергия этих импульсов преобразуется в постоянный ток выходным выпрямителем 4. Ток регулируется длительностью импульсов (ШИМ) при помощи модуля управления 8. Система управления по сигналам датчиков тока 6 и напряжения 7 задает и стабилизирует сварочный ток, изменяет наклон ВАХ, обеспечивает аварийное отключе-

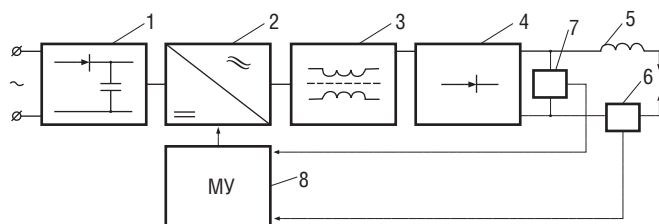


Рис. 3. Структурная схема инверторного источника питания

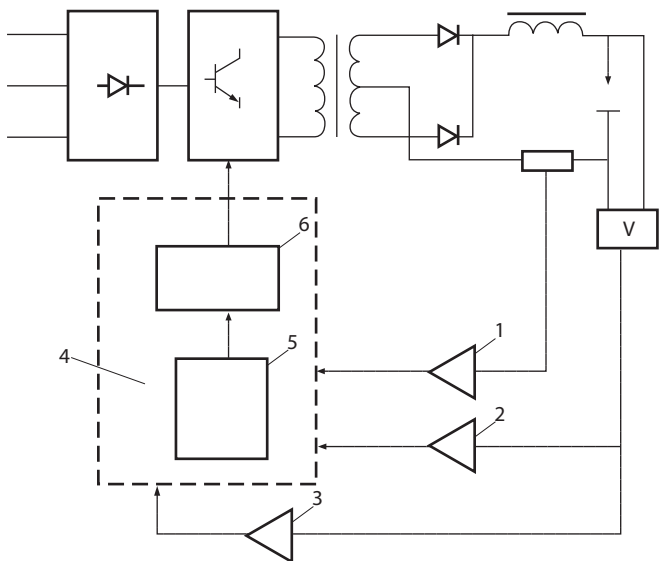
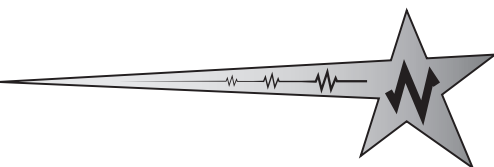


Рис. 4. Блок-схема модуля управления источника с УКП:

1 – измеритель тока; 2 – индикатор КЗ; 3 – индикатор разрыва перемычки; 4 – контроллер; 5 – блок ШИМ управления силовым модулем; 6 – регулятор режимов каплепереноса

ние. Дроссель 5 обеспечивает дополнительную стабилизацию процесса горения дуги на стадии образования капли и ее перемещения через дуговой промежуток. Система управления процессом сварки выполнена в виде двух функциональных модулей, один из которых предназначен для управления каплепереносом от сварочного источника и располагается в его корпусе, а второй – скоростью подачи электродной проволоки и циклом сварки с расположением в блоке подачи проволоки.

Интеллектуальная система управления (рис. 4) каплепереносом на базе контроллера обеспечивает не только динамическое изменение энергетических характеристик источника, но и значительно упрощает конструкцию панели управления его функциями, что особенно важно при контроле и корректировке разнотемповых процессов.

Данные технические решения реализованы в многофункциональном сварочном источнике ДС 400.33-УКП [12], приведенном на рис. 5.

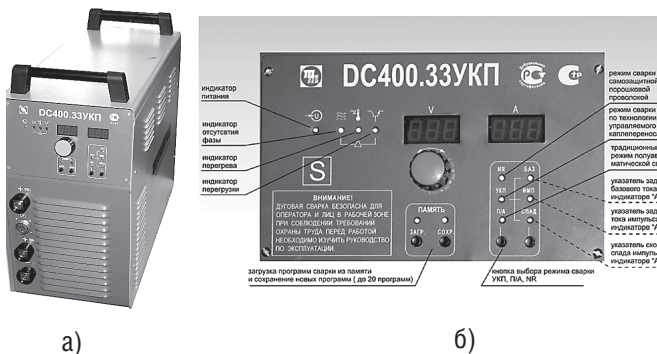


Рис. 5. Общий вид многофункционального сварочного источника ДС 400.33-УКП (а) и его панели управления (б)

Техническая характеристика сварочного источника ДС 400.33-УКП

Номинальное напряжение сети, В (допустимое отклонение, %)	~ 380 (+15/-10)
Частота тока питающей сети, Гц (допустимое отклонение, %)	50 (± 10)
Максимальная потребляемая мощность, кВт	≤ 22
Точность поддержания сварочного тока, %	± 5

Сварка с управляемым каплепереносом (УКП) и импульсно-дуговая сварка (ИДС)

Минимальный базовый ток (при напряжении ≤ 20 В), А	50
Максимальный базовый ток (при напряжении ≤ 26 В), А	150
Максимальный ток импульса (напряжение ≤ 36 В), А	500
Минимальный ток импульса (напряжение ≤ 28 В), А	150
Напряжение холостого хода источника при импульсе тока, В	113

Сварка с естественными короткими замыканиями (КЗ)

Номинальный сварочный ток, А	400
Максимальный ток при ПН = 60 % (напряжение ≤ 36 В), А	400
Ток КЗ (при максимальном напряжении сети), А	450
Минимальный сварочный ток (при напряжении > 16 В), А	50
Габаритные размеры источника, мм	610x280x535
Масса, кг	≤ 40

Удобная и понятная для пользователя панель управления позволяет быстро устанавливать нужные параметры сварки и контролировать их значения. Предусмотрена цифровая индикация режимов работы источника, параметров процесса сварки, информация о неисправностях.

Независимое управление сварочным током и скоростью подачи электродной проволоки при помощи быстродействующего микропроцессора и обратных связей позволяет контролировать и изменять параметры сварочной дуги более 1000 раз в одну секунду. Проведенные исследования обеспечили устойчивую работу сварочных источников серии ДС не только от стандартной сети, но и от автономных источников энергии [13].

**Блок подачи электродной проволоки.** В блок подачи ПМ-4.3 (рис. 6) функционально входят механизм подачи про-

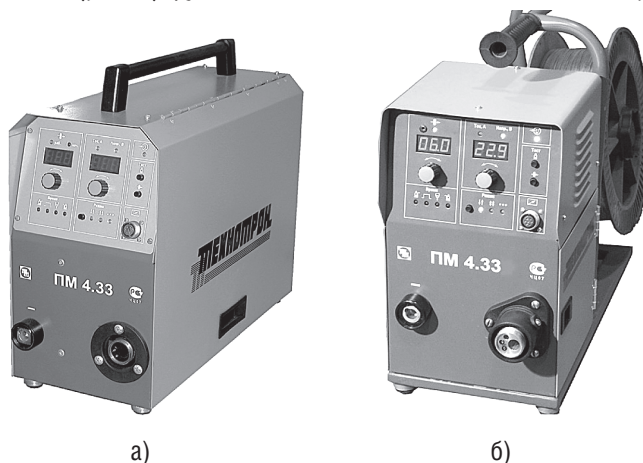
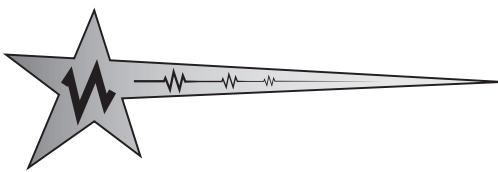


Рис. 6. Блок подачи ПМ-4.3 с закрытой (а) и открытой (б) катушкой



волоки, кассетный узел, аппаратура управления. Предусмотрено два исполнения блока: с закрытой (а) и открытой (б) катушкой. Механизмы с закрытой катушкой целесообразно применять при сварке в полевых и монтажных условиях, с открытой – при сварке в цеховых условиях или на стационарных базах.

Основой блока подачи ПМ-4.3 является механизм подачи проволоки фирмы Cooptim Ltd. (Венгрия), в роликовом узле которого предусмотрено зубчатое зацепление двух подающих и двух прижимных роликов с гладкой рабочей канавкой. Такая конструкция роликового узла обеспечивает подачу без смятия порошковой или мягкой, например алюминиевой, проволоки.

Встроенная в блок подачи аппаратура управления обеспечивает цифровую индикацию скорости подачи проволоки, сварочного тока и напряжения; плавную регулировку скорости подачи сварочной проволоки; установку времени продува в начале сварки и обдува газа после ее окончания; плавное гашение дуги при окончании процесса сварки. Панель управления блока подачи интуитивно понятна при настройке режима сварки.

Кассетный узел блока подачи ПМ-4.3 позволяет использовать катушки диаметром до 300 мм и массой намотанной сварочной проволоки до 15 кг. Оригинальное тормозное устройство предотвращает нарушение рядной укладки проволоки при ее подаче в процессе сварки.

Стыковочный узел блока подачи с евроразъемом позволяет свободно работать с современными горелками любого типа.

### Техническая характеристика подающего механизма ПМ-4.3

Тип электродной проволоки.....	Сплошная/Порошковая
Диаметр электродной проволоки, мм .....	0,8 – 2,0
Скорость подачи электродной проволоки, мм/с.....	1 – 267
Напряжение питания, В.....	~ 36
Потребляемая мощность, кВт·А .....	≤0,15
Диапазон значений рабочей температуры, °С .....	-40 – 40
Масса, кг .....	12

**Сварочная горелка.** Для удобства работы сварочная горелка (шланговый держатель) должна быть легкой, малогабаритной, а рука сварщика должна занимать, по возможности, естественное положение. Проведенный анализ показал, что по технико-экономическим показателям этим условиям, наряду с собственными разработками, в наибольшей степени отвечают горелки фирмы Abicor-Binzel (Германия). Однако окончательный выбор остается за потребителем сварочной продукции.

**Квалификационные испытания оборудования и технологий для механизированной сварки газопроводов.** Многофункциональный сварочный источник ДС 400.33-УКП и блок подачи электродной проволоки ПМ-4.3 являются составными частями полуавтомата ПАМ-4.33 для механизированной сварки, позволяющего выполнять сварку с УКП, с естественными КЗ, а также импульсно-дуговую сварку в защитных и активных

газах и их смесях. Синхронизация работы блока подачи со сварочным источником позволяет, при необходимости, располагать их на значительном удалении друг от друга. Так как при эксплуатации сварочного оборудования в полевых условиях значительная доля отказов связана с трудно прогнозируемыми скачками напряжения входной сети и климатическими факторами, организована поддержка его качества не только при проектировании и изготовлении, но и эксплуатации.

Представленные технологии и оборудование для механизированной орбитальной сварки магистральных газопроводов прошли в установленном порядке квалификационные испытания и вошли в реестр технологий и оборудования, рекомендованных для применения на объектах ОАО «Газпром». Промышленные партии оборудования поставлены дочерним предприятиям ОАО «Газпром» для строительства и реконструкции объектов газотранспортной системы РФ.

Данное оборудование может найти применение и в других отраслях промышленности, например, при строительстве нефтепроводов, в судостроении и энергетическом машиностроении.

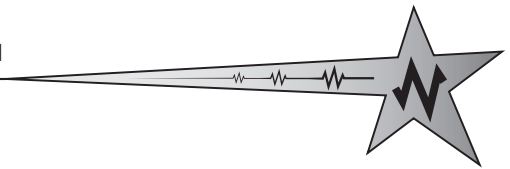
### Выводы

1. Созданный технологический задел по механизированной сварке плавящимся электродом в различных пространственных положениях позволяет разработать технологии сварки, устойчивые к возмущениям внешней среды, и необходимое оборудование с использованием последних достижений в области системотехники и современной элементной базы.

2. Создание многофункционального сварочного источника ДС 400.33-УКП с использованием оригинальных схемотехнических решений и датчиков обратных связей, современной силовой электроники и микропроцессорной техники позволяет на практике обеспечить управляемый каплеперенос электродного металла не только при автоматической, но и при механизированной орбитальной сварке.

3. Разработанный на базе многофункционального сварочного источника ДС 400.33-УКП и блока подачи электродной проволоки ПМ-4.3 полуавтомат ПАМ-4.33 позволяет выполнять сварку с управляемым каплепереносом или естественными КЗ, а также импульсно-дуговую сварку в защитных и активных газах и их смесях, сварку газозащитными и самозащитными порошковыми проволоками.

4. После разработки отечественных быстродействующих источников и интеллектуальной аппаратуры управления с применением микропроцессорной техники основные проблемы, препятствовавшие ранее внедрению механизированной сварки плавящимся электродом, практически решены, что позволяет рекомендовать новое поколение оборудования с цифровым управлением и технологии орбитальной сварки для промышленного использования при механизированной сварке магистральных газопроводов.



## Список литературы

1. *Вышемирский Е. М.* Состояние и основные направления развития сварочного производства ОАО «Газпром» // Сварка и Диагностика. 2009. № 1. С. 16 – 19.
2. *Бернадский В. Н., Маковецкая О. К.* Сварочное производство и рынок сварочной техники в современной экономике: перспективы развития сварочного производства // Сварочное производство. 2009. № 2. С. 43 – 47.
3. *Scotti A., Ponomarev V., da Costa A. V.* A methodology for voltage drop determination in GMA welding: arcs with short-circuiting metal transfer // European Physical Journal: Applied Physics. 2006. Vol. 34. Issue 3. P. 231 – 236.
4. *Управление переносом капли при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Сварочное производство. 2001. № 6. С. 6 – 9.*
5. *Особенности управляемого тепломассопереноса при сварке плавящимся электродом с короткими замыканиями дугового промежутка / С. И. Полосков, Ю. С. Ищенко, В. А. Лебедев, О. Б. Гецкин // Сварочное производство. 2002. № 7. С. 6 – 13.*
6. *Сварка трубопроводов: Учеб. пособие / Ф. М. Мустафин, Н. Г. Блехерова, О. П. Квятковский и др. М.: Недра-Бизнесцентр, 2002. 350 с.*
7. *Komizo Y.* Overview of recent welding technology relating to pipeline construction // Transactions of JWRI. 2009. Vol. 37. № 1. P. 1 – 5.
8. *Yamane S., Yoshiyama K., Oshima K.* Numerical simulation of weld pool in narrow gap GMA welding // Quarterly journal of the Japan welding society. 2009. Vol. 27. № 2. P. 37 – 41.
9. *Разработка комплекса сварочных полуавтоматов на базе агрегатирования и перспективной унификации / А. П. Просвирин, С. И. Полосков, В. Д. Ефремов, А. Н. Белоусов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Сварка в ядерной технологии. 1985. Вып. 2 (15). С. 56 – 62.*
10. *Опыт разработки и применения современных отечественных технологий и оборудования для автоматической орбитальной сварки магистральных газопроводов / О. Б. Гецкин, Е. М. Вышемирский, А. В. Шипилов, С. И. Полосков // Сварка и Диагностика. 2010. № 6. С. 51 – 57.*
11. *Опыт создания отечественного блочно-модульного оборудования для автоматической орбитальной TIG-сварки с подачей присадочной проволоки / В. А. Галкин, А. В. Шипилов, Е. М. Вышемирский, С. И. Полосков // Сварка и Диагностика. 2011. № 1. С. 36 – 41.*
12. *Гецкин О. Б.* Разработка алгоритма управления переносом электродного металла при сварке в защитных газах и его реализация в многофункциональном сварочном источнике. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2010. 16 с.
13. *Гецкин О. Б., Кудров И. В., Яров В. М.* Особенности работы сварочных инверторов от автономных источников питания // Сварочное производство. 2004. № 4. С. 53 – 55.

## НА КНИЖНОЙ ПОЛКЕ

Вышла в свет книга «Разрушение крупных сварных узлов машин при изготовлении и эксплуатации» автора М. В. Козулина (Тольятти: ТГУ, 2010).

В монографии описаны случаи взрывов автоклавов, разрушения корпусов трубных мельниц, бандажей вращающихся печей и крупных деталей машин. Приведены конструкторские и технологические приемы их восстановления.

Издание рекомендовано методической комиссией Автомеханического института Тольяттинского государственного университета и предназначено для инженерно-технических работников предприятий, включая предприятия, изготавливающие силикатный кирпич и другие изделия при автоклавной обработке, преподавателей и студентов машиностроительных вузов.