



НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ НПО «СЭЛМА–ИТС» ДЛЯ ДУГОВОЙ СВАРКИ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

М. М. КАРАСЕВ, д-р техн. наук, **Д. Н. РАБОТИНСКИЙ**, **Г. В. ПАВЛЕНКО**,
В. Л. СОРОКА, **М. А. ШОЛОХОВ**, инженеры

Проведен сравнительный анализ сварочного оборудования (источники питания, сварочные установки, полуавтоматы) для дуговой сварки в защитных газах проволоками малого диаметра. Отмечены недостатки оборудования ведущих западных фирм и рассмотрены подходы совершенствования сварочной техники, реализованные фирмой НПО «СЭЛМА–ИТС».

Ключевые слова: дуговая сварка, защитный газ, инверторы, выпрямители, разбрызгивание металла, конкурентоспособность, универсальные установки, подающие механизмы, технические характеристики

Начиная с 2002 г. в России наибольшее применение при сварке в защитных газах имеет сварочная проволока диаметром 1,2 мм. Применение проволоки диаметром 1,6 и 2,0 мм при сварке в углекислом газе приводит к повышенному разбрызгиванию (более 10 %), низкой стабильности процесса, который зачастую при повышении тока дуги переходит в стадию сварки заглубленной дугой. Это вызывает значительное количество дефектов.

Общепринятое мнение о том, что применение проволок больших размеров повышает производительность сварочного процесса в большинстве случаев не всегда верно. Это вызвано тем, что при сварке проволокой меньшего диаметра, уменьшаются как размеры разделки, так и общее количество требуемого наплавленного металла. Общее время сварки стыка при этом падает. Учитывая, что при сварке проволокой диаметром 1,2 мм в углекислом газе разбрызгивание электродного металла уменьшается как минимум на 30 %, это создает очевидные преимущества при сварке проволоками диаметром 1,2 мм перед традиционными проволоками диаметром 1,6 и 2,0 мм.

Применение смесей газов несколько выравнивает положение, однако все равно при сварке на проволоках диаметром 1,6 и 2,0 мм остаются проблемы, связанные с заглублением дуги в сварочную ванну и повышенной вероятностью дефектов. Кроме того, применение смесей газов достаточно проблематично при сварке корневых швов с формированием обратного валика на весу. Это вызвано тем, что применение смесей газов значительно снижает теплосодержание сварочной дуги. При этом резко возрастает вероятность непровара кромок. Поэтому в организациях, которые используют формирование обратного валика на весу (ОАО «Газпром», ОАО «Транснефть»), использование газовых смесей строго регламентировано.

Целью настоящей работы является сравнительный анализ сварочной техники, обеспечивающей качественное формирование сварных швов во всех пространственных положениях, всех стадий формирования сварных соединений (корневые, запол-

няющие и облицовочные проходы), при минимальном разбрызгивании (менее 5 %), с максимальной стабильностью и повторяемостью, проволоками диаметром не более 1,2 мм сплошного сечения и порошковыми.

При подготовке настоящей статьи исследования и анализ производили на базе группы предприятий «ИТС» (г. С.-Петербург) и ОАО «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь) — крупнейших производителей и поставщиков сварочного оборудования в России, Украине и других странах СНГ.

Зарубежные инверторы ведущих западных фирм, наряду с очевидными достижениями в области сварки (пульсирующий режим, синергетическое управление, малые массогабаритные показатели, высокий КПД и др.), имеют ряд недостатков, а именно:

- низкую надежность инверторной сварочной техники при эксплуатации в условиях низких температур (менее -10°C), загрязнения воздуха цеха или повышенной влажности;
- невозможность использования импульсных режимов и низкую надежность инверторной сварочной техники при длинных соединительных кабелях (более 20 м от источника питания до подающего механизма), что не позволяет применять в ряде случаев эту технику;
- повышенную вероятность дефектов в сварном соединении при корневых проходах при использовании рекомендованных импульсных режимов. Это вызвано тем, что при небольших изменениях геометрии разделки или наличии загрязнения на поверхности разделки рекомендованные параметры импульсных режимов самопроизвольно изменяются;
- сложность реализации сварочного импульсного процесса при токах дуги более 300 А, что вызвано низкой управляемостью процесса и повышенной вероятностью дефектов в сварном соединении;
- дорогостоящее программирование параметром сварочного режима при необходимости сварки в нестандартном для данного сварочного аппарата режиме и сложность технического обслуживания.

Из новых разработок сварочных выпрямителей наибольшее внимание заслуживает сварочный процесс, идеология которого разрабатывалась в работах А. Г. Потапьевского [1], Ю. Н. Сараева

[2], ростовской школы сварки [3] и промышленно реализованный фирмой «Линкольн электрик» (США) под названием STT-процесс. Основной идеей этого процесса является управление процессом массопереноса электродного металла не путем традиционного формирования импульсов, отрывающих капли электродного металла и реализующего таким образом сварку без коротких замыканий (режим «пульс»), а принудительное формирование коротких замыканий путем управления током и напряжением на дуге. При этом главной особенностью массопереноса является то, что переход капли электродного металла в сварочную ванну осуществляется под действием сил поверхностного натяжения капли расплавленного электродного металла, что позволяет производить сварку в различных пространственных положениях с высоким качеством формирования сварного соединения и при минимальном разбрызгивании.

Поэтому в НПО «СЭЛМА-ИТС» основные разработки производили на основе имеющегося негативного опыта по копированию зарубежных сварочных установок и необходимости использования отечественных наработок стратегического плана, выполненных в бывшем СССР.

При разработке собственного оборудования использовали критерии, изложенные в ГОСТ 25616-83. Особое внимание обращалось на разбрызгивание (не более 5 % при сварке в углекислом газе и не более 2 % при сварке в смеси газов), стабильности процесса в любых пространственных положениях проволокой сплошного сечения (стальной и алюминиевой) и порошковой, включая самозащитную и коэффициент формы сварного шва.

Другой критерий новых разработок в НПО «СЭЛМА-ИТС» — это конкурентоспособность с ведущими мировыми фирмами по надежности в эксплуатации и технологичности в применении. Так, использование сложных вольт-амперных характеристик (ВАХ) при сварке в защитных газах привело к регулируемому массопереносу электродного металла, достижимому ранее только на наиболее дорогостоящих моделях зарубежных инверторных сварочных установок.

Наиболее известной разработкой последних двух лет явился выпуск новой серии отечественных выпрямителей с индексом «ДК» (Дистанционное управление; комбинированная ВАХ — ВД-306ДК, ВД-506ДК серии 03). Это универсальные выпрямители, которые обеспечивают механизированную сварку плавящимся электродом и порошковыми проволоками, включая самозащитные, аргодуговую сварку неплавящимся электродом (с возможностью импульсных режимов) и ручную дуговую сварку покрытыми электродами, включая сварку электродами с основными и целлюлозными видами покрытия. Имеется возможность плавно регулировать глубину проплавления и эластичность сварочной дуги.

В этих выпрямителях создан и впервые промышленно реализован новый вид схем управления. Внешние комбинированные ВАХ обеспечивают режим работы, когда каждый их участок определяет любую стадию плавления и переноса капли электродного металла при ручной дуговой сварке и механизированной сварке плавящимся электродом.

В них осциллограммы тока и напряжения смещаются на угол, обеспечивающий минимум тока в момент короткого замыкания, что приводит к перетеканию капли электродного металла в сварочную ванну под действием сил поверхностного натяжения при минимуме тока короткого замыкания и электродинамических сил, действующих на каплю.

Это делает сварочный процесс близким с STT-процессом и обеспечивает близкие технологические возможности по формированию сварных соединений, особенно при сварке в защитных газах.

Новый метод, получивший название «вынужденные короткие замыкания» (ВКЗ), имеет ряд технологических возможностей, недостижимых ранее при полуавтоматической сварке:

- возможность формирования на весу обратного валика сварного шва с усилением 0...2 мм при сварке во всех пространственных положениях (включен в ведомственную руководящую документацию ОАО «Газпром» при сварке неповоротных стыков трубопроводов);

- обеспечение разбрызгивания металла при сварке методом ВКЗ в углекислом газе не более 5 % и при сварке в смеси газов не более 2 %;

- обеспечение при технологической необходимости потребности плавного перехода от сварки ВКЗ к сварке со струйным переносом электродного металла с разбрызгиванием электродного металла, близким к нулю (эффективно при сварке нержавеющей сталей или при заполнении и облицовке стыков сварных соединений);

- обеспечение эффективной сварки стальными, нержавеющей и алюминиевыми проволоками сплошного сечения, а также порошковыми проволоками (при сварке порошковыми проволоками процесс автоматически переходит в струйный);

- обеспечение значительного снижения выгорания легирующих элементов (что характерно при стандартной импульсной сварке по принципу «один импульс — одна капля») и повышение, таким образом, механических свойств сварного соединения;

- снижение коробления свариваемых деталей из-за уменьшения нагрева (время горения дуги сокращается из-за наличия коротких замыканий);

- плавная регулировка глубины проплавления основного металла и переход таким образом к различным режимам сварки корневого прохода, заполнения и облицовки разделки, наплавки;

- регулирование эластичности сварочной дуги, что необходимо при автоматической наплавке на поверхность переменного сечения (изменяя угол наклона ВАХ на лицевой панели выпрямителя);

- обеспечение надежной и эффективной эксплуатации сварочной техники при длине соединительного кабеля от выпрямителя до механизма подачи проволоки до 50 м (управление процессом производится не традиционно по току дуги, а по напряжению на дуге).

Из рис. 1, 2 становится понятна сущность процесса ВКЗ и его отличия от импульсно-дугового

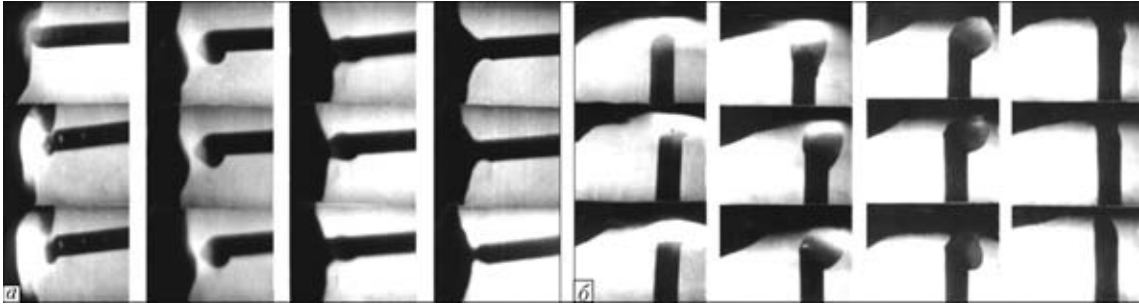


Рис. 1. Кинограмма процесса каплепереноса методом ВКЗ в вертикальном (а) и потолочном (б) пространственных положениях

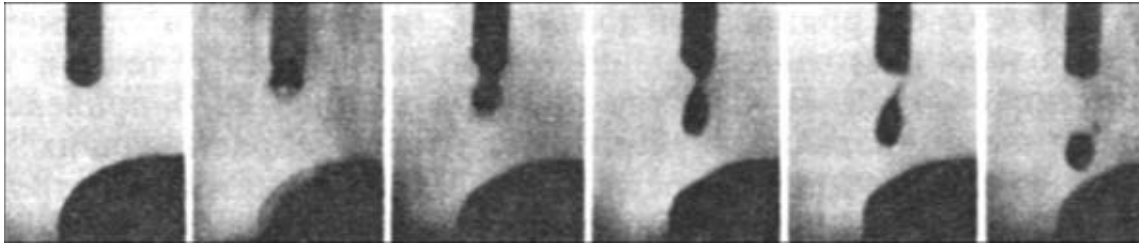


Рис. 2. Кинограмма процесса каплепереноса импульсным методом в нижнем пространственном положении

процесса. При течении процесса ВКЗ значительно уменьшается как время контакта капли электродного металла с дугой, так и время горения дуги (на длительность коротких замыканий) и размеры сварочной ванны, процесс становится более гибким и регулируемым с технологической точки зрения.

Выпрямители обеспечены подробной технологической документацией (Минэнерго РФ) на все виды сварочных работ (ручная дуговая, полуавтоматическая и аргодуговая сварка). Аттестованы ВНИИСТ и ВНИИГАЗ, г. Москва на выполнение сварочных работ при ремонте и строительстве трубопроводов в ОАО «Газпром» и ОАО «Транснефть». Имеются методические рекомендации по правильному ведению технологического процесса [4].

Внешний вид и процесс формирования на весу обратного валика при сварке в углекислом газе на установках типа ДК показан на рис. 3.

Следует отметить, что температурный интервал эксплуатации установок типа ДК составляет $-40...+50$ °С, что не обеспечивает ни один инверторный источник питания. Зимой 2003 г. в России эти выпрямители успешно эксплуатировались при -44 °С, когда все зарубежные сварочные установки, вклю-

чая тиристорные (DC-400, PS-3500 и др.) и инверторные, были парализованы.

На базе этих выпрямителей создана и промышленно выпускается первая отечественная мультисистема, обеспечивающая все виды дуговой сварки с использованием одного источника, сочетающая надежность работы и высокое качество сварных соединений на уровне лучших зарубежных образцов.

Как следует из анализа табл. 1, выпрямители с комбинированными ВАХ обладают оптимальными динамическими характеристиками из числа исследованных и соответственно оптимальным размером капли электродного металла (из работы [3] известно, что оптимальный размер капли переносимого металла не должен быть более чем в 1,5 раза больше диаметра электрода).

Дальнейшим развитием выпрямителей класса ДК является выпрямитель ВД-506ДК серии 04 (рис. 4), имеющий существенные отличия от серийно выпускаемых установок типа ДК предыдущего поколения:

ступенчатое регулирование индуктивности сварочного дросселя, что необходимо при сварке на больших токах дуги (более 300 А) и на различных

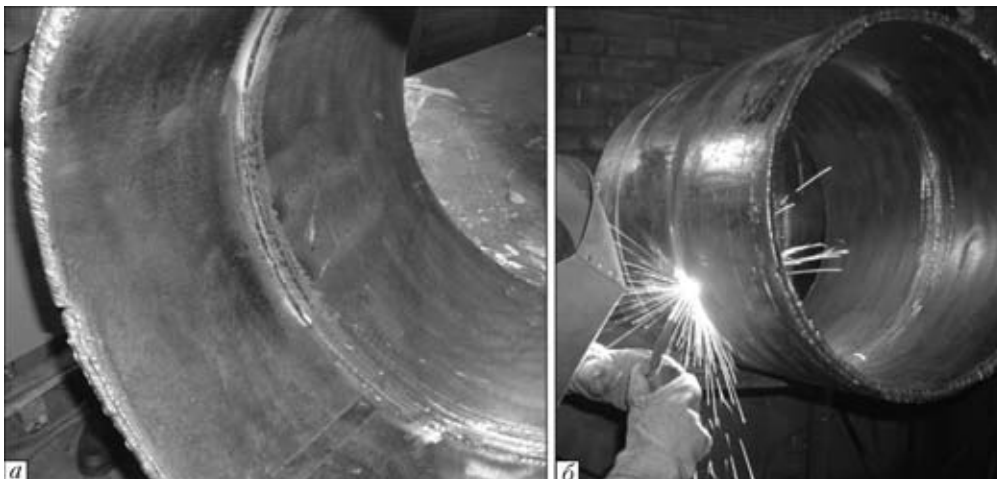


Рис. 3. Внешний вид (а) и процесс формирования на весу обратного валика при сварке в углекислом газе на установках типа ДК (б)

Таблица 1. Размеры капель электродного металла при сварке с короткими замыканиями

Источник	$t_{к.з}^Ф$, мс	Диаметр капли, мм
ВД-506ДК	2,76	1,24
ВД-506ДК	1,02	—
ВДУ-506С	0,70	—
ВДУ-506С	2,64	1,43
ВС-300Б*	1,87	1,96
ВС-300Б**	1,35	1,42

Примечание. Высокая индуктивность источников отмечена одной звездочкой, низкая — двумя.



Рис. 4. Внешний вид нового выпрямителя ВД-506ДК серии 04

диаметрах сварочной проволоки, новая силовая часть, обеспечивающая ПВ = 100 % на токе 400 А;

эффективное регулирование тока короткого замыкания не только при ручной дуговой, как ранее, но и при полуавтоматической сварке, что позволяет плавно изменять параметры сварного шва и регулировать давление сварочной дуги на поверхность сварочной ванны, достигая плавного регулирования глубины проплавления основного металла;

новая плата управления, обеспечивающая повышенную надежность в работе, повышенная механическая прочность корпуса, защищенная от механических повреждений лицевая панель, возможность предустановки сварочного напряжения при

полуавтоматической сварке, встроенный блок снижения напряжения при ручной дуговой сварке.

Другие свойства новой сварочной установки серии 04, по крайней мере, не хуже, чем у предыдущих сварочных установок типа ДК серии 03. Постановка на серийное производство — третий квартал 2004 г. В данный момент установочная партия проходит промышленные испытания.

Следующим этапом развития установок для сварки в углекислом газе является новая версия известного выпрямителя, получившая название

Таблица 2. Технические данные новых сварочных выпрямителей для механизированной сварки плавящимся электродом

Параметр	ВД-306ДК	ВД-506ДК-4	ВДГ-401	КСУ-320	ВС-300	ВС-600	ПДГ-351 (в моноблочном исполнении)	ВДУ-511
Напряжение питающей сети, В	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)	3×380 (50 Гц)
Номинальная потребляемая мощность, кВт	17	22	28	11	25	47	16	34
Сварочный ток, А (ПВ)	315 (60 %)	400	400 (60 %)	320 (60 %)	315 (85 %)	700	315 (60 %)	500 (60 %)
Пределы регулирования сварочного тока, А	40...350 (при ММА) 12...350 (при ТИГ) 30...350 (при МИГ/МАГ)	40...500 (при ММА) 12...500 (при ТИГ) 50...500 (при МИГ/МАГ)	80...500	30...320 (при ММА) 40...320 (при МИГ/МАГ)	50...350	100...700	50...440	50...500
Пределы регулирования сварочного напряжения, В	17...45	17...45	18...42	Определяется напряжением холостого хода питающего трансформатора	17...35	19...49	19...35	21...45
Напряжение холостого хода, В	85	85	75	≤ 90	41	65	45	85
Вид регулирования сварочного напряжения	Плавное	Плавное	Плавно-ступенчатое	Плавное	Ступенчатое	Ступенчатое	Ступенчатое	Плавное
Виды сварочных работ	ММА, МИГ/МАГ, ТИГ	ММА, МИГ/МАГ, ТИГ	МИГ/МАГ	ММА, МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	МИГ/МАГ	ММА, МИГ/МАГ
Габаритные размеры, мм	615×400×600	615×420×700	750×605×950	183×210×550	850×420×800	845×605×765	810×450×860	750×650×1150
Масса, кг	140	160	250	11	120	280	135	260



ВДУ-511. В настоящее время выпускается упрощенная версия ВДУ-506 серии 04. Постановка ВДУ-511 на серийное производство — третий квартал 2004 г. Этот тиристорный выпрямитель не имеет такой универсальности как выпрямители типа ДК. Он предназначен только для полуавтоматической сварки. Он также имеет комбинированную внешнюю ВАХ, обеспечивает сварку методом ВКЗ и струйный перенос электродного металла. Отличием от выпрямителей типа ДК является то, что на лицевой панели установлен регулятор размера сварочных капель при переносе металла и регулятор глубины провара. Эти технологические функции необходимы для регулирования формы сварного шва, его химического состава, разбрызгивания при сварке.

В табл. 2 приведены технические характеристики новых выпрямителей для сварки в углекислом газе, серийно выпускаемые предприятиями ИТС.

Выпрямители ВС-300 и ВС-600 (табл. 2) запущены в серийное производство два года назад по многочисленным заявкам предприятий. Аналогичные сварочные выпрямители до сих пор выпускаются за рубежом фирмой ESAB, так как хорошо себя зарекомендовали при сварке в смеси газов и по надежности. Их характерной чертой, как и выпрямителей типа ВДГ, в отличие от тиристорных, является синусоидальная форма кривых тока и напряжения на выходе сварочных источников. Они имеют ступенчатую регулировку сварочного напряжения с шагом 0,5 В, диодные выпрямители, переключение сварки с повышенной и пониженной индуктивностью. Нами выпущены переработанные версии с учетом пожеланий предприятий. Характерной чертой этих установок также является повышенная надежность.

ПДГ-351 (табл. 2) выпущен в 2003 г. как дальнейшее развитие моноблочных полуавтоматов типа ПДГ-252,150. Он имеет встроенный подающий механизм фирмы «Фортранс», ступенчатое переключение напряжение, диодный выпрямитель. По сварочным свойствам этот выпрямитель соответствует выпрямителям типов ВС-300 и ВС-600.

Работа по разработке инверторных источников питания сосредоточена в области создания сварочных конверторов — чопперов. Это вызвано их повышенной надежностью по сравнению с традиционными инверторами. Промышленную опробацию в 2002–2003 гг. на предприятиях судостроения прошли первые чопперы — КСУ-320. Их промышленный выпуск освоен в конце 2003 г. Выпускаются универсальные установки, работающие в режимах ММА и МИГ/МАГ. Их технические характеристики приведены в табл. 2. Наибольший интерес вызывают установки типа КСУ-320, предназначенные для сварки нержавеющей стали в режиме ММА. В этом случае брак снижается на 40... 50 %, что обеспечивает окупаемость новой техники за полгода.

Среди подающих механизмов, появившихся за последние годы, предназначенных для сварки проволокой диаметром 1,2... 1,6 мм, наибольшего внимания заслуживают подающие механизмы ПДГ-421 («Адмиралтеец»), ПДГ-322М для работы с кассетой диаметром 200 мм, ПДГО-510 (серия 05) и ПДГО-511 для работы с кассетой массой 18 кг.

В ОАО «Фирма СЭЛМА» и ЗАО НПФ «ИТС» на протяжении последних двух лет велась активная работа по выбору схемного решения подающих механизмов. На сегодня эта задача успешно решена. За базовый выбран подающий механизм типа ПДГ-510 серии 05, имеющий следующие преимущества:

Таблица 3. Сравнительные технические характеристики современных подающих механизмов

Параметр	ПДГ-421	ПДГ-322М	ПДГО-510-02	ПДГО-510-05	ПДГО-511
Исполнение	Закрытое	Закрытое	Открытое	Открытое	Закрытое
Диаметр проволоки, мм	0,6...1,4	0,6...1,4	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)	1,2...2,0 (спл.) 1,6...3,2 (пор.)
Масса кассеты, кг	5	5	15	15	15
Разъем горелки	Евро, штырьевой	Евро, штырьевой	Евро, штырьевой	Евро, штырьевой	Штырьевой
Наличие вспомогательного блока	БП-02 с любым выпрямителем	БУСП-06 с любым выпрямителем	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВДУ-506-04	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВД-306 (506)ДК	БП-01 с любым выпрямителем, напрямую с ВДУ-506-04, ВД-506ДК-4
Мощность привода, Вт	90	90	120	120	90
Количество роликов, шт.	4	4	4	4	2
Максимальное удаление от выпрямителя, м	25	40	40 (до 100 м с ВД-306(506)Д при подключении провода обратной связи)	40	40 (до 100 м с ВД-506ДК-04 при подключении провода обратной связи)
Масса без кассеты, кг	7	7	15	15	14
Габаритные размеры, мм	450×175×295	460×154×292	650×215×410	650×215×410	483×229×521

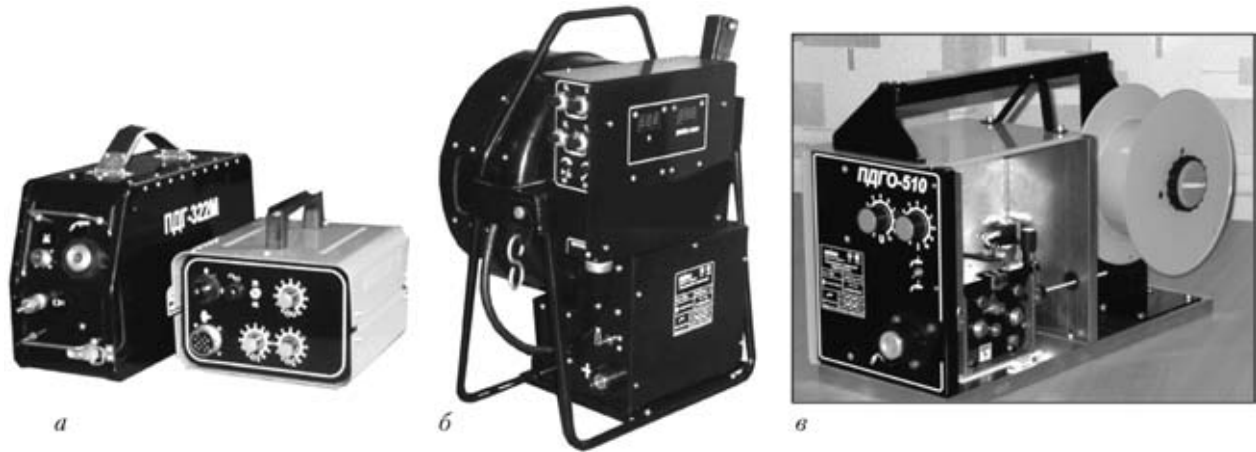


Рис. 5. Новые подающие механизмы ПДГ-322М (а), ПДГО-511 (б), ПДГО-510 серии 05 (в)

- стабилизация скорости подачи проволоки при затруднении ее прохождения по каналу горелки и колебаниях напряжения питающей сети;

- размещение платы управления в отдельном отсеке корпуса, что повышает ее защищенность от механических повреждений и воздействия окружающей среды;

- защита платы от заклинивания привода, повышенное усилие привода, повышенная надежность подающего механизма (пневмоклапана, платы управления, использование двух прижимных регулировочных устройств);

- подающий механизм имеет регулировки времени продувки газа до и после сварки, «мягкого» старта, регулировку времени отключения источника после прекращения подачи сварочной проволоки, функцию продувки защитного газа, подачи сварочной проволоки без напряжения источника питания;

- максимальное удаление от подающего механизма до выпрямителя составляет 40 м. Имеется специальная версия подающего механизма ПДГ-510 серии 02, где имеется возможность обеспечить удаление до 100 м с выпрямителем типа ДК, возможность сварки самозащитной проволокой и регулировки тока дуги с горелки.

На базе этих подающих механизмов в 2004 г. освоен серийный выпуск подающего механизма ПДГ-511. Технические решения этого подающего механизма описаны выше.

Отличием является вертикальная компоновка корпуса подающего механизма, улучшенная защита от механических повреждений и атмосферных осадков, возможность предварительной настройки двух различных режимов сварки (по току и напряжению на дуге) и переключение их прямо с горелки, цифровая индикация сварочных режимов (скорость сварочной проволоки и напряжение на дуге),

возможность переключения вида управления электронной платой — зависимая (для порошковых проволок) и независимая (для проволок сплошного сечения), скорость подачи сварочной проволоки. Имеет систему обратных связей, позволяющих при подключении провода обратной связи производить сварку самозащитной порошковой проволокой и увеличивать расстояние от выпрямителя до подающего механизма до 100 м. Вертикальная компоновка очень удобна в эксплуатации: позволяет подвешивать механизм подачи, значительно экономит усилия при переноске. В целом конструкция корпуса является эргономичной. За прототип построения вертикальной компоновки был выбран подающий механизм LN-23 фирмы «Линкольн электрик».

В табл. 3 приведены сравнительные технические характеристики современных подающих механизмов.

Заказ сварочной продукции и техническое обслуживание производится в ЗАО НПФ «ИТС», г. С.-Петербург, тел. (812) 321-61-61, 321-61-71 и представительствах в Москве, Екатеринбурге, Самаре.

Каталог продукции смотри на сайте www.et-scompany.spb.ru, а также у производителя электросварочного оборудования ОАО «Фирма СЭЛМА» (г. Симферополь), тел. (0652) 48-18-62, 48-57-96, 48-59-12, www.selma.ua.

1. *Потатьевский А. Г.* Сварка в защитных газах плавящимся электродом. — М.: Машиностроение, 1974.
2. *Сараев Ю. Н.* Управление переносом электродного металла при сварке в CO_2 с короткими замыканиями дугового промежутка // Автомат. сварка. — 1988. — № 12. — С. 16–23.
3. *Ленивкин В. А., Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н.* Технологические свойства сварочной дуги в защитных газах. — М.: Машиностроение, 1989.
4. *Технология* полуавтоматической (механизированной) сварки корневого слоя шва с использованием процесса ВКЗ. — СПб., М.: ООО «ВНИИГАЗ», ЗАО НПФ «ИТС», 2003.

Comparative analysis has been performed of welding equipment (power sources, welding units, semi-automatic machines) for arc welding in shielded gases with small-diameter wires. Drawbacks of the equipment of leading Western companies are noted, and approaches to improvement of welding equipment, implemented by NPO "SELMA-ITS", are considered.

Поступила в редакцию 05.04.2004