

Исследование влияния конструктивных особенностей и химического состава наполнителя, порошковых проволок на режимы электродуговой сварки

В.А. Рыбин

ассистент кафедры¹

Vtec11@mail.ru

В.А. Иванов

доктор технических наук, профессор кафедры¹

Ivanov_V_A@list.ru

¹Транспорт углеводородных ресурсов, Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия

Нефтегазодобывающая отрасль, является одной из наиболее быстро развивающейся отраслью. Для добычи, транспортировки и хранения нефти, газа, а также различных нефтепродуктов внедряется новое, более совершенное оборудование, отличающееся более высокой надежностью и технологичностью.

Материалы и методы

Сварка порошковой проволокой.

Ключевые слова

электродуговая сварка, порошковая проволока

Несмотря на ускорение технического и технологического прогресса основным материалом, для изготовления различного бурового инструмента, трубопроводов, емкостей и резервуаров служит сталь. Поэтому основные технические характеристики различных конструктивов оборудования нефтегазовой отрасли напрямую зависят от способа изготовления. Основным способом получения неразъемных соединений линейной части трубопроводов, компрессорных и насосных станциях является сварка.

От способа сварки и качества сварных швов зависит долговечность, надежность и себестоимость сооружаемых и ремонтируемых объектов нефтегазового профиля. В свою очередь на качество и скорость выполнения сварочных работ, оказывает влияние большое количество факторов, основными из них являются: применяемое оборудование; квалификация сварщиков; вид и качество сварочных материалов.

Из перечисленных факторов наибольшее внимание заслуживают сварочные материалы. Так как, от их вида напрямую зависит не только качество сварных швов, но и структура, механические свойства наплавленного металла и всего сварного соединения в целом. Отсюда следует, что именно грамотный инженерный подход к выбору сварочных материалов, является основополагающим фактором.

В настоящее время широкое применение нашли следующие виды сварочных материалов: покрытые электроды для ручной дуговой сварки; сварочная проволока сплошного сечения; порошковая и порошковая самозащитная проволока.

Покрытые сварочные электроды получили широкое применение при сооружении и ремонте трубопроводов, резервуаров, дожимных и перекачивающих насосных станций, а также изготовления различных емкостей хранения и обработки нефтепродуктов. Этот вид материалов отличает сравнительно низкая стоимость, а также достаточно высокая маневренность при ручной дуговой сварке. Одновременно с этим покрытые электроды обладают существенными недостатками: низкая степень защиты дуги и сварочной ванны от воздействия внешней среды; потери

на угар и разбрызгивание достигают 25–30%; склонность к насыщению покрытием влаги, требующей дополнительных мероприятий связанных с сушкой электродов; низкая производительность процесса сварки.

Стальная проволока сплошного сечения является одним из основных сварочных материалов при выполнении швов полуавтоматической и автоматической сваркой. Этот вид сварочных материалов имеет сравнительно невысокую себестоимость и достаточно высокую производительность, которая достигается возможностью использования повышенных режимов сварки. Также сварочная проволока сплошного сечения не имеет предрасположенности к поглощению влаги, поэтому перед ее использованием никаких дополнительных технологических мероприятий не требуется.

Однако этот вид сварочных материалов в «чистом виде» использовать нельзя, а только при наличии защитной среды флюсом или защитным газом, что ведет к дополнительным материальным затратам. Также один из основных недостатков этих материалов кроется в технологии изготовления, а именно: неравномерное распределение легирующих элементов и примесей по сечению проволоки; неоднородность химического состава по сечению проволоки; невозможность получения проволоки одной марки с абсолютно одинаковым химическим составом, что может оказать отрицательное влияние на процесс сварки и качество сварного шва или наплавленного слоя металла; средний коэффициент наплавки, требующий выполнения большего числа проходов обуславливающих многократное термическое воздействие на свариваемые детали, что приводит к снижению производительности проводимых работ.

Учитывая недостатки сварочных электродов и проволоки сплошного сечения, был разработан принципиально новый вид сварочных материалов — порошковая проволока.

Порошковая проволока представляет собой непрерывный электрод трубчатой или другой, более сложной конструкции с порошкообразным наполнителем — сердечником. Сердечник состоит из смеси минералов, руд, ферросплавов металлических порошков,

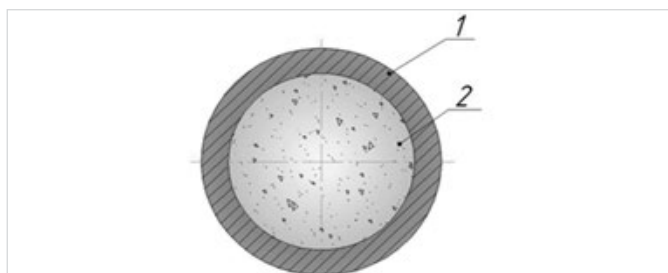


Рис. 1 — Строение порошковой проволоки:
1 — металлическая оболочка, 2 — порошковый наполнитель

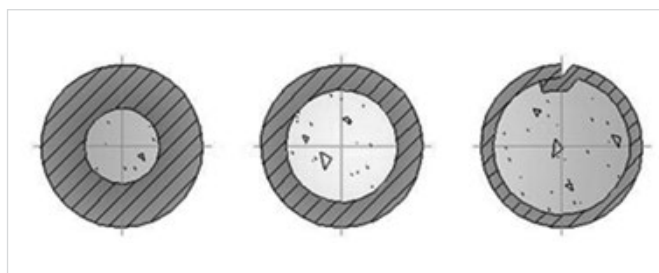


Рис. 2 — Виды (простых) сечений порошковой проволоки

химикатов и других материалов. Строение порошковой проволоки показано на рис. 1.

Назначение различных составляющих сердечника подобно назначению электродных покрытий — защита расплавленного металла от вредного влияния воздуха, раскисление, легирование металла связывание азота в стойкие нитриды, стабилизация дугового разряда и т.д. Составляющие сердечника, должны удовлетворять общепринятым требованиям предъявляемым ко всем сварочным материалам и обеспечивать: хорошее формирование швов; легкую отделимость шлаковой корки; провар основного металла; минимальное разбрызгивание металла; отсутствие пор и трещин; шлаковых включений и других дефектов; определенные механические свойства швов и сварных соединений. Наиболее распространенные виды сечений порошковой проволоки представлены на рис. 2.

Для повышения производительности сварки и наплавки была разработана проволока сложного сечения с порошковым наполнителем (рис. 3). Такая форма сечения проволоки отличается от цилиндрической (рис. 2) тем, что металлическая оболочка вводится внутрь сердечника. Это позволяет увеличить количество наплавляемого металла в расплавленной ванне при сварке и наплавке, а значит позволяет повысить производительность данного процесса.

В зависимости от вида сварочных работ следует применять проволоку различных диаметров и сечений. Так для сварки корневого слоя следует использовать проволоку диаметром до 2 мм с более простой формой сечения, это позволит добиться полного проплавления свариваемых кромок

и стабильного формирования обратного валика. Для формирования заполняющих слоев, в зависимости от толщины кромок и числа проходов, наиболее рациональной является порошковая проволока диаметром от 2,0 мм. с простой или более сложной (в зависимости от требуемого количества наплавляемого металла) формой сечения.

Отдельного внимания заслуживает процесс наплавки. Для выполнения наплавочных работ наиболее подходящей является

порошковая проволока со сложной формой сечения, т.к. наличие дополнительного металла внутри тела проволоки позволяет значительно увеличить объем наплавляемого слоя, повышая стабильность горения сварочной дуги, что благоприятно сказывается на качестве изделия.

Выбор определенного сечения порошковой проволоки, непосредственно зависит от толщины свариваемых деталей и необходимого количества слоев.

Наружный диаметр проволоки D, мм	Толщина оболочки h_1 , мм.	Тип сердечника порошковой проволоки				
		Рутитовые	Рутил-флюоритные	Карбонатно-флюоритные	Рутил-органические	Металлопорошковые
Ø1,2	0,2	X	X	X	X	X
Ø1,4	0,2	X	X	X	X	X
Ø1,6	0,2	X	X	X	X	X
	0,3	X	X	X	X	X
Ø2,0	0,2	X	X	X	X	X
	0,3	X	X	X	X	X
	0,5	X	X	X	X	X
Ø2,4	0,2	X	X	X	X	X
	0,3	X	X	X	X	X
	0,5	X	X	X	X	X
Ø2,8-3,0	0,2	X	X	X	X	X
	0,3	X	X	X	X	X
	0,5	X	X	X	X	X

Таб. 1 — Сводная таблица экспериментальных образцов порошковых материалов по диаметру, толщине оболочки и типу (химическому составу) сердечника

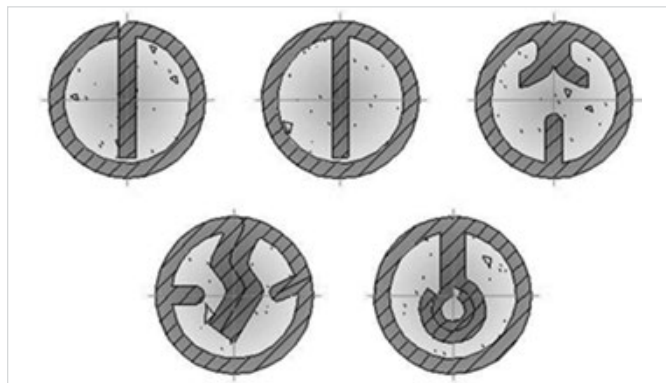


Рис. 3 — Виды (сложных) сечений порошковой проволоки с введенной внутрь сердечника оболочкой

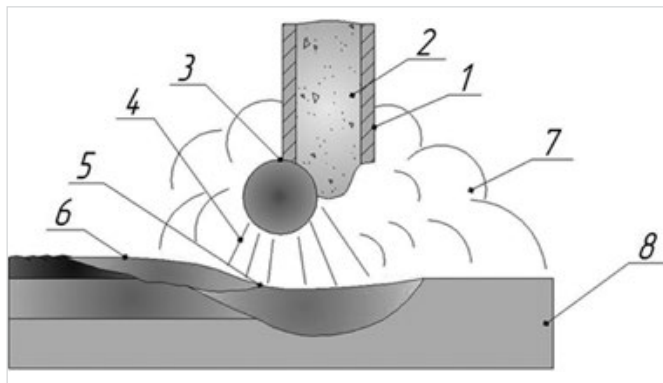


Рис. 4 — Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой. 1 — стальная оболочка, 2 — порошковый сердечник, 3 — капля металла, 4 — электрическая дуга, 5 — сварочная ванна, 6 — шлак, 7 — образующийся защитный газ, 8 — свариваемая (наплавляемая) поверхность

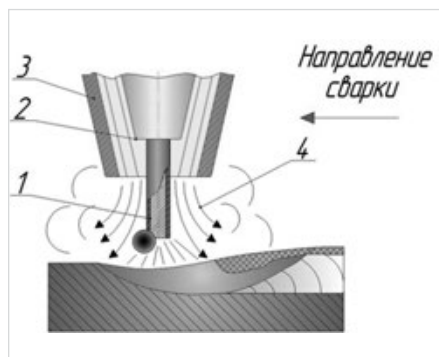


Рис. 5 — Схема процесса сварки порошковой проволокой в защитном газе. 1 — проволока, 2 — токоподвод, 3 — сопло, 4 — защитный газ

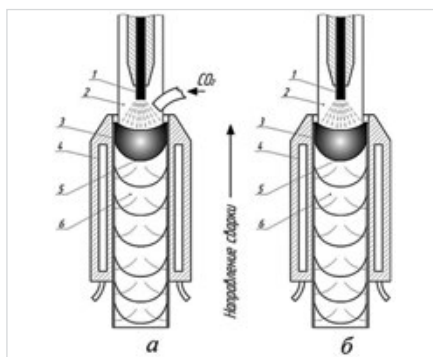


Рис. 6 — Схема электродугового процесса сварки с принудительным формированием шва: а — в углекислом газе, б — открытой дугой. 1 — порошковая проволока, 2 — свариваемый металл, 3 — шлак, 4 — ползуны, 5 — сварочная ванна, 6 — шов.

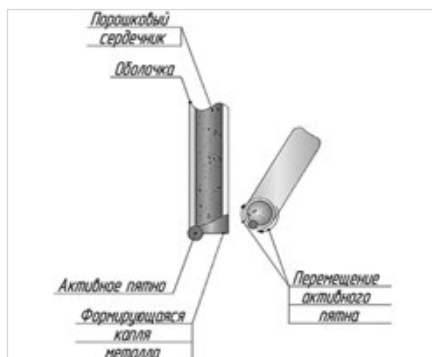


Рис. 7 — Схема образования и перемещения активного пятна по сечению порошковой проволоки

Для увеличения количества наплавленного металла, рекомендуется использовать проволоку большего диаметра и более сложным строением, т.к. это повысит производительность сварки (наплавки) и позволит уменьшить число термических циклов, оказываемых на металл шва и околошовной зоны, что благоприятно сказывается на структуре сварного соединения.

Однако существует ряд проблем, связанных с выбором наиболее рационального сечения порошковой проволоки. Главной проблемой в этом является отсутствие методики выбора режимов сварки в зависимости от формы сечения и химического состава проволоки. Это приводит к дополнительным материальным затратам связанным с практическим поиском режимов сварки и настройки сварочного оборудования. Для решения упомянутой проблемы автором разработана конструкция

и методика расчета режимов сварки порошковыми проволоками с различным видом металлического поперечного сечения.

Порошковые проволоки классифицируют по:

- назначению;
- способу защиты металла от влияния воздуха;
- типу сердечника, механических свойств металла шва.

Порошковые проволоки применяют для сварки и наплавки малоуглеродистых и низколегированных конструкционных сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов.

По способу защиты порошковые проволоки делят на два вида: самозащитные; для сварки с дополнительной защитой газом или флюсом.

Схема процесса сварки самозащитной порошковой проволокой со свободным формированием шва приведена на рис. 4.

В зависимости от состава сердечника

порошковые проволоки, делят на пять типов: рутил — органические; рутиловые; карбонатно — флюоритные; рутил — флюоритные; флюоритные.

Основу сердечника проволоки рутил-органического типа составляет рутиловый концентрат и алюмосиликаты (полево шпат, слюда, гранит). В качестве раскислителей используется ферромарганец. Газообразующими материалами служат крахмал или целлюлоза. Порошковые проволоки рутил-органического типа используются как самозащитные.

Сердечник порошковых проволок рутилового типа в основном состоит из рутилового концентрата, алюмосиликатов и руды. Раскислителями служат ферромарганец, ферросилиций, ферроалюминий. Порошковые проволоки рутилового типа используются с дополнительной защитой. В качестве защитного газа чаще всего используют углекислый газ.

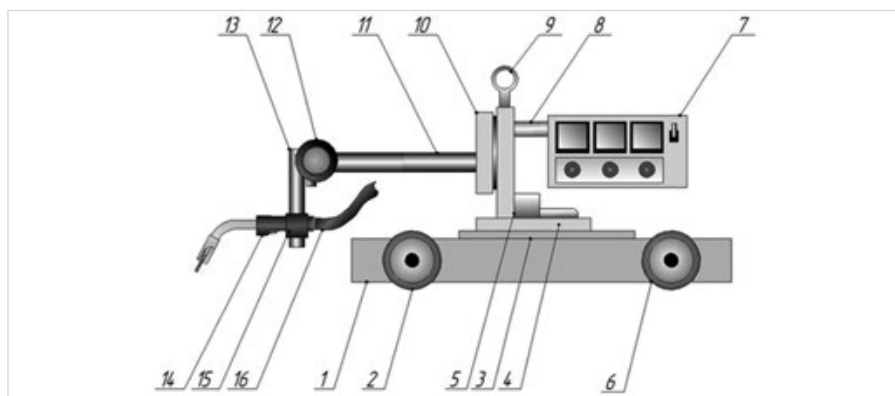


Рис. 8 — Автоматизированная исследовательская установка УН-8

1 — самоходная тележка; 2 — холостое колесо; 3 — основание; 4 — горизонтальный суппорт с электроприводным механизмом перемещения; 5 — вертикальный суппорт с электроприводным механизмом перемещения; 6 — приводное колесо; 7 — пульт управления; 8 — штанга; 9 — рым-болт; 10 — суппорт настройки вертикального перемещения; 11 — штанга; 12 — механический регулятор вертикального перемещения горелки; 13 — вертикальная штанга; 14 — сварочная горелка; 15 — фиксатор горелки; 16 — сварочный кабель.

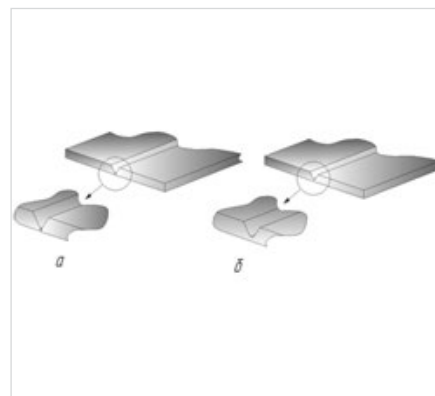


Рис. 9 — Общий вид образцов для проведения экспериментов по исследованию режимов сварки трубопроводов порошковыми проволоками. а) общий вид образца с V — образной разделкой для отработки режимов сварки корневого шва; б) общий вид образца с выборкой имитирующей готовый корневой шов сварного соединения магистрального трубопровода

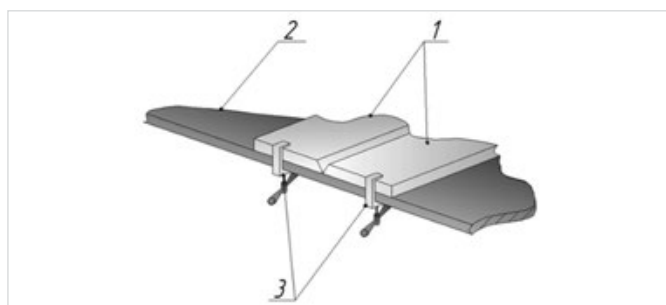


Рис. 10 — Схема сборки пластин исследований режимов полуавтоматической сварки.

1 — пластина, 2 — суппорт настройки вертикального перемещения, 3 — винтовые прижимы (струбцины)

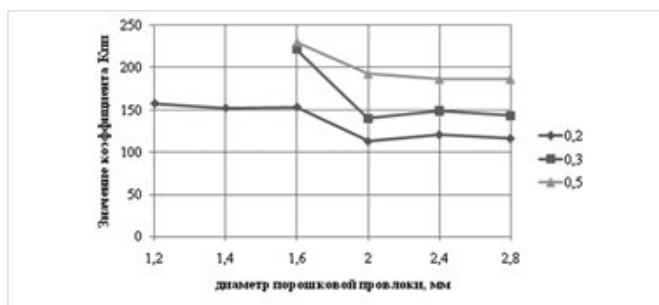


Рис. 11 — Зависимость коэффициента $K_{нп}$ от толщины оболочки порошковой проволоки $\varnothing 1,2-2,8$ мм с рутиловым типом сердечника

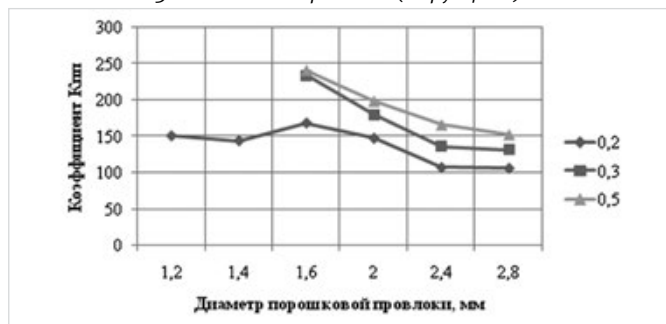


Рис. 12 — Номограмма зависимости коэффициента $K_{нп}$ от диаметра порошковой проволоки $\varnothing 1,2-2,8$ мм с рутил-флюоритным типом сердечника

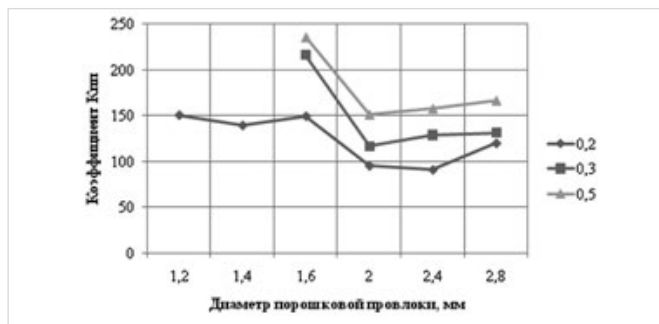


Рис. 13 — Зависимость коэффициента $K_{нп}$ от толщины оболочки порошковой проволоки $\varnothing 1,2-2,8$ мм с карбонатно-флюоритным типом сердечника

В состав сердечника порошковых проволок карбонатно-флюоритного типа в качестве газообразующих материалов вводят карбонаты кальция, магния, натрия. В качестве шлакообразующих компонентов используют рутиловый концентрат, алюмосиликаты, окислы щелочно-земельных металлов, флюоритовый концентрат. Для раскисления металла в состав сердечника вводят ферромарганец и ферросилиций. Также для дополнительного раскисления и связывания азота в нитриды в сердечник проволок карбонатно-флюоритного типа вводят титан и алюминий. Чаще всего проволоки этого типа используют как самозащитные, но в некоторых случаях, для повышения степени защиты сварочной ванны их могут применять в сочетании с углекислым газом.

Основу сердечника проволок рутил-флюоритного типа составляют рутиловый и флюоритовый концентраты. В качестве шлакообразующих компонентов используют окислы щелочно-земельных металлов и алюмосиликаты. Для раскисления металла сварочной ванны, в состав сердечника проволок рутил-флюоритного типа вводят ферромарганец и ферросилиций. Чаще всего проволоки рутил-флюоритного типа применяют в сочетании с дополнительной защитой углекислым газом.

Сердечник проволок флюоритного типа в основном состоит из флюоритового

концентрата и небольшого количества окислов щелочно-земельных металлов. В качестве раскислителей используют ферромарганец, алюминий, магний. Алюминий в составе сердечника проволоки флюоритного типа также связывает азот металла сварочной ванны в нитриды. Порошковые проволоки этого типа используют как самозащитные.

В состав сердечников порошковых проволок всех типов с целью увеличения производительности процесса сварки и придания благоприятных сварочно-технологических свойств вводят железный порошок.

Для определения зависимости основных режимов сварки от сечения и химического состава порошковой проволоки более подробно рассмотрим процесс горения порошковой проволоки.

В процессе сварки порошковая проволока проходит две стадии: нагрева и оплавления. Эти процессы сопровождаются окислением железа, легирующих элементов, а также разложением органических материалов. Развитие этих процессов в сердечнике оказывает существенное влияние на взаимодействие расплавленного металла с газами и шлаком, тем самым влияя на технологические показатели сварки.

Процесс нагрева оболочки порошковой проволоки при сварке и наплавке происходит в основном за счет тепла, выделяющегося при прохождении сварочного тока, а

также тепла выделяющегося в активном пятне. Тепло выделяющееся в активном пятне, нагревает лишь небольшой участок на торце проволоки, от 1–3 мм (рис. 7). На этом участке проволока нагревается до температуры плавления.

Для определения влияния химического состава сердечника и конструктивных особенностей, порошковых проволок на изменение основных параметров электродуговой сварки был проведен ряд экспериментов.

Для достоверности результатов получаемых в ходе проведения эксперимента, выборка велась исходя из следующих критериев для:

- марки порошковых представленной во всем диапазоне исследуемых диаметров ($\varnothing 1,2-2,8$ мм) с условием однотипности формы поперечного сечения (кольцевое);
- экспериментальных образцов порошковых материалов по толщине оболочки находящейся в пределах 0,2–0,5 мм. Исключением являются порошковые материалы малых диаметров ($\varnothing 1,2-1,4$ мм), конструктивное исполнение которых не может иметь толщину стенки (h_1) свыше 0,2–0,3 мм;
- экспериментальных образцов порошковых проволок по химическому составу сердечника представленный всеми типами (см. выше).

Экспериментальные образцы представлены в таб. 1.

Для снижения влияния человеческого

Наружный диаметр проволоки D, мм	Толщина оболочки h_1 , мм	Значение силы сварочного тока (А), в зависимости от химического состава сердечника порошковой проволоки				
		Рутиловые	Рутил-флюоритные	Карбонатно-флюоритные	Рутил-органические	Металлопорошковые
$\varnothing 1,2$	0,2	К:180–200 З:250–280	К:150–200 З:250–300	К:150–220 З:200–300	К:160–220 З:260–330	К:180–200 З:250–270
	0,3	К:190–240 З:260–335	К:170–240 З:240–330	К:160–220 З:220–320	К:190–260 З:260–360	К:195–240 З:260–340
$\varnothing 1,4$	0,2	200–290	250–290	190–285	150–180	200–300
	0,3	300–400	350–400	300–400	210–355	300–405
$\varnothing 2,0$	0,2	200–250	250–340	180–200	140–190	200–250
	0,3	230–330	335–385	220–240	180–210	230–330
	0,5	350–420	375–420	250–350	220–240	250–420
$\varnothing 2,4$	0,2	280–300	220–300	180–260	220–250	280–330
	0,3	340–380	300–355	270–340	240–270	340–380
	0,5	400–500	350–450	360–400	260–310	390–505
$\varnothing 2,8$	0,2	300–350	250–345	320–350	240–305	300–355
	0,3	350–353	340–400	340–380	295–355	350–450
	0,5	460–580	400–450	450–490	340–390	450–580

Таб. 2 — Изменение силы сварочного тока при сварке порошковыми проволоками с различным химическим составом порошкового сердечника

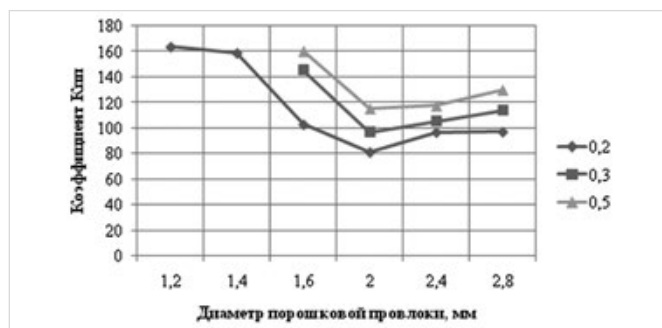


Рис. 14 — Зависимость коэффициента K_{nn} от толщины оболочки порошковой проволоки $\varnothing 1,2-2,8$ мм с рутил-органическим типом сердечника

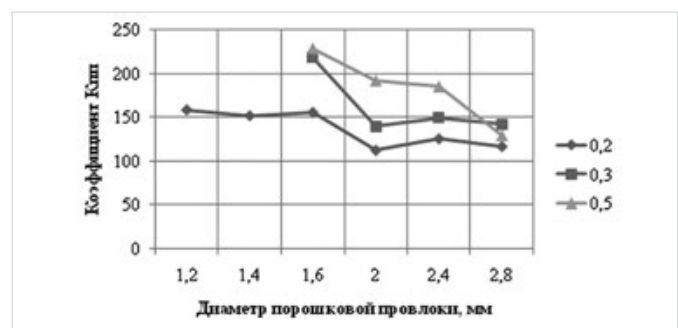


Рис. 15 — Зависимость коэффициента K_{nn} от толщины оболочки порошковой проволоки $\varnothing 1,2-2,8$ мм с металлопорошковым типом сердечника

фактора на результаты проведения экспериментов была сконструирована экспериментальная установка, получившая обозначение УН-8 (рис. 8).

Для имитации производственных условий процесса сварки металлоконструкций, были использованы 2 вида образцов:

- комплект образцов для сварки корневого слоя;
- комплект образцов с «канавкой» имитирующей сформированный корневой проход, для отработки режимов сварки заполняющих слоев.

На рис. 9 представлен общий вид образцов на которых отрабатывались режимы сварки.

Для предотвращения образования сварочных деформаций, сборка опытных образцов осуществлялась при помощи винтовых прижимов (рис. 10), на которых отрабатывались режимы сварки порошковыми проволоками.

По результатам проведенных исследований составлена таб. 2 с учетом типа сварочной проволоки и порошкового наполнителя.

Как видно из анализа экспериментальных данных представленных в таб. 2, сила сварочного тока значительно меняется в зависимости от:

- наружного диаметра порошковой проволоки;
- толщины оболочки порошковой проволоки;
- химического состава порошкообразного сердечника.

В ходе более детального анализа данных таб. 2 было установлено, что кроме диаметра порошковой проволоки, ключевое воздействие на изменение силы сварочного тока оказывает комплексное изменение

химического состава порошка сердечника, толщины оболочки и конструкции электрода.

Отсюда следует, что на изменение силы сварочного тока при электродуговой сварке порошковыми проволоками существенное влияние оказывает взаимосвязь диаметра, химсостава и конструктивных особенностей порошкового электрода.

На основании исследований авторами было предложено ввести безразмерный коэффициент $K_{\text{нп}}$, учитывающий взаимное изменение силы сварочного тока от химического состава сердечника и конструктивных особенностей порошковой проволоки.

Анализ экспериментальных данных позволил получить номограммы изменения в зависимости от изменения толщины оболочки проволоки (рис. 11–15).

Итоги

Исследования показали, что на изменение силы сварочного тока существенное влияние оказывает комплексное воздействие таких факторов как конструктивные особенности порошковой проволоки и химический состав порошкового сердечника.

Выводы

1. Сварочная дуга, горит преимущественно между оболочкой и поверхностью изделия, причем активное пятно хаотично перемещается по сечению оболочки, с постоянно меняющейся скоростью.
2. Сердечник порошковой проволоки обладает значительным сопротивлением, которое зависит не только от конструкции но и химического состава порошкового сердечника.

3. Химический состав сердечника порошковой проволоки приводит к существенным изменениям режимов сварки (при диаметре 2 мм и толщине оболочки 0,2 мм сила сварочного тока изменяется от 200–340 А).

4. Толщина оболочки проволоки также оказывает существенное влияние на изменение величины силы тока (при диаметре проволоки 2,4 мм с рутиловым типом сердечника, сила сварочного тока меняется в пределах 280–500 А).

5. На основе анализа экспериментальных данных и проведенных математических расчетов, определено изменение силы сварочного тока в зависимости от конструктивных особенностей и химического состава порошковой проволоки. Для обозначения этой зависимости авторами статьи предложено ввести безразмерный коэффициент $K_{\text{нп}}$ (рис. 11–15), который учитывает изменение величины силы сварочного тока от химического состава порошкового сердечника и конструктивных особенностей проволоки.

Список используемой литературы

1. Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. Сварка порошковой проволокой. Киев: Наукова думка, 1972. 215 с.
2. Бабенко, Э.Г., Верхотуров. А.Д. Особенности формирования покрытий на металлах методом электроискрового легирования. Владивосток: Дальнаука, 1998. 89 с.
3. Макиенко В.М., Романов И.О., Строителев Д.В. Исследование влияния шлаковой системы порошковых проволок на основе двуокиси циркония // М.: Сварщик-Профессионал. 2005. № 6. С. 8–10.

ENGLISH

WELDING

Study of the influence of structural characteristics and the chemical composition of the filler powder wires on the modes of arc welding

UDC 621.791.042.3

Authors:

Vasilii A. Rybin — assistant professor; vtec11@mail.ru

Vadim A. Ivanov — doctor of technical sciences, professor; Ivanov_V_A@list.ru

¹Transport of hydrocarbon resources, Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russian Federation

Abstract

The oil and gas industry is one of the fastest growing. For the production, transportation and storage of oil, gas and petroleum products being introduced various new advanced equipment, characterized by higher reliability and manufacturability.

Materials and methods

Flux-cored wire welding.

Results

Studies have shown that the change of welding current is significantly influenced by the complex influence of such factors as the features of a powder wire and chemical composition the powder core.

Conclusions

1. Welding arc, burning mainly between the shell and the surface of the product, and active spot moves erratically on the cross section of the shell, with a constantly changing speed.
2. Core flux-cored wire has considerable resistance, which depends not only on the design and chemical composition the powder core.
3. The chemical composition of the core of powder wire leads to essential changes in the modes of welding (with a diameter of 2 mm and the shell thickness 0,2 mm amperage varies from 200–340 A).
4. Shell thickness of a wire also has a significant influence on change of size of a current strength (when the wire diameter is 2.4 mm

rutile type core, amperage changes in the range of 280–500 A).

5. On the basis of analysis of experimental data and conducted by mathematical calculations, defined change in the welding current, depending on the design features and chemical composition of cored wire. To indicate this dependence the author of the article prompted to enter a dimensionless coefficient (look at table 3 and fig. 11–15), which takes into account the change in the value of welding current from the chemical composition of the powder core and design features of the wire.

Keywords

electric arc welding, flux-cored wire

References

1. Pokhodnya I.K., Suptel' A.M., Shlepakov V.N. *Svarka poroshkovoy provolokoy* [Cored welding wire]. Kiev: *Naukova dumka*, 1972, 215 p.
2. Babenko, E.G., Verkhotur. A.D.

- Osobnosti formirovaniya pokrytiy na metallakh metodom elektroiskrovogo legirovaniya* [Features of formation of coatings on metals by the electric spark]. Vladivostok: *Dal'nauka*, 1998, 89 p.
3. Makienko V.M., Romanov I.O., Stroitelev

D.V. *Issledovanie vliyaniya shlakovoy sistemy poroshkovykh provolok na osnovе dnuokisi tsirkoniya* [Investigation of the influence of slag powder wires zirconia-based]. Moscow: *Svarshchik-Professional*, 2005, issue 6, pp. 8–10.