

Методика определения силы сварочного тока при соединении стыков секций магистральных трубопроводов с применением порошковых проволок

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

Отсутствие методики выбора наиболее рациональных режимов сварки порошковыми проволоками, приводит к существенному удорожанию процесса внедрения новых образцов этих материалов в технологическом процессе сварочных работ на магистральных трубопроводах.

Материалы и методы

Сварка порошковой проволокой.

Ключевые слова

электродуговая сварка, порошковая проволока

В настоящее время наблюдается существенный рост потребления углеводородного сырья, что привело к интенсификации работ по сооружению, ремонту и реконструкции объектов нефтегазовой отрасли.

Основным видом транспорта для жидких и газообразных углеводородов являются стальные трубопроводы. Поэтому, для снижения затрат времени и ресурсов затрачиваемых на проведение монтажных работ в трубопроводном транспорте требуется внедрение новейших энерго- и ресурсоэффективных технологий.

Из общего цикла работ при сооружении и ремонте магистральных трубопроводов важным является этап соединения трубных секций. Проведенный анализ применяемых технологий заварки стыков трубопроводов показал, что наиболее перспективной является электродуговая сварка с применением порошковых проволок. Однако отсутствие методики выбора наиболее рациональных режимов сварки порошковыми проволоками, приводит к существенному удорожанию процесса внедрения новых образцов этих материалов в технологическом процессе сварочных работ на магистральных трубопроводах.

В отличие от других современных сварочных материалов, порошковые проволоки представляют собой непрерывный электрод полый конструкции, с размещенным внутри порошковым наполнителем. В состав наполнителя входят: минералы, руды, ферросплавы металлических порошков и др. Основным назначением порошкового сердечника является:

- раскисление и рафинирование металла соединения трубного стыка;
- шлакообразование;
- легирование металла;
- повышение стабильности дугового разряда;
- создание защитной газовой атмосферы.

В зависимости от диаметра и состава порошкового наполнителя, сварка такими проволоками может осуществляться во всех пространственных положениях, что позволяет

соединять неповоротные стыки секций трубопроводов в монтажных условиях.

В процессе сварки электрическая дуга возбуждается между оболочкой порошковой проволоки и металлом кромки свариваемых труб (рис. 1). Посредством тепла, выделяемого в процессе горения сварочной дуги, начинает плавиться оболочка, и сердечник проволоки, приводя к образованию капли на торце проволоки. Далее следует процесс переноса капли расплавленного металла. При плавлении шлакообразующих компонентов порошкового наполнителя образуется шлак, покрывающий тонким слоем капли расплавленного металла и сварочную ванну. Входящие в состав порошкообразного сердечника проволоки карбонаты и органические вещества, под действием тепла выделяемого при горении дуги разлагаются с образованием газов, защищающих сварочную ванну от воздействий окружающей среды.

В процессе сварки порошковая проволока проходит стадии нагрева и плавления, сопровождающиеся процессами окисления железа и легирующих элементов, разложением органических веществ входящих в состав сердечника. Эти процессы оказывают существенное влияние на технологические показатели сварки и качество стыка трубопровода.

При сварке нагрев оболочки порошковой проволоки происходит за счет тепла выделяемого при прохождении тока и образовании активного пятна. При этом на вылете электрода создается квазистационарное температурное поле.

Тепло выделяющееся в активном пятне, нагревает не все сечение проволоки, а только участок от 1–3мм на торце проволоки. На этом участке проволока нагревается до температуры плавления и выше.

Нагрев и плавление порошкового сердечника проволоки осуществляется за счет передачи тепла от сварочной дуги и нагретой оболочки.

При сварке порошковыми проволоками параметры горения дуги зависят от химического состава сердечника. В свою очередь режимы

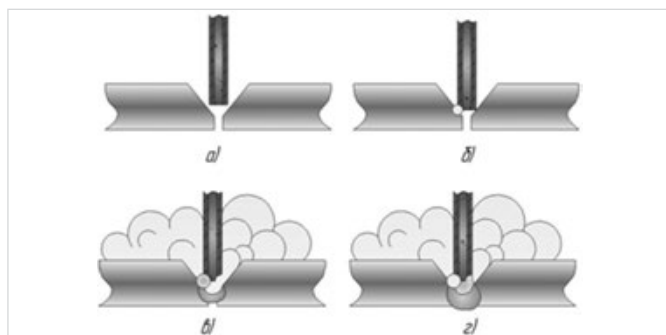


Рис. 1 — Схема процесса плавения порошковой проволоки при стыковке секций трубопроводов.

а) подача порошковой проволоки в зону сварки стыка трубопровода;
б) короткое замыкание и образование разряда; в) образование сварочной дуги, оплавление кромок свариваемых труб и образование защитного газа; г) образование капли расплавленного металла и сварочной ванны

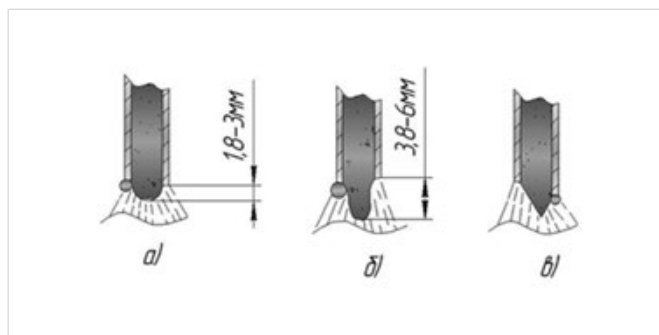


Рис. 2 — Формы плавения порошковой проволоки.
а) при невысоких значениях силы тока и напряжения;
б) при увеличении тока; в) при увеличении напряжения дуги

сварки оказывают существенное влияние на характер плавления проволоки.

Было установлено, что сила сварочного тока и напряжение сварочной дуги приводят к изменению формы плавления порошковой проволоки. Это объясняется тем, что металлическая оболочка сварочной проволоки обладает более высокой электропроводностью, чем порошковый сердечник. Поэтому в процесс горения сварочной проволоки наблюдается некоторое отставание скорости плавления сердечника от оболочки проволоки, рис. 2.

При малых токах и напряжении дуги, выступающая часть сердечника имеет цилиндрическую форму с высотой не более 3 мм. С ростом силы тока наблюдается более интенсивное отставание скорости плавления сердечника от оболочки, что приводит к удлинению выступающей части до 6 мм. При увеличении напряжения, также наблюдается процесс отставания скорости плавления сердечника, от оболочки, однако под воздействием тепла от столба дуги выступающая часть сердечника принимает коническую форму.

Таким образом, установлено, что режимы сварки оказывают непосредственное воздействие на скорость и форму плавления порошковой проволоки и как следствие на процесс переноса электродного металла в сварочную ванну.

Основным параметром при сварке порошковыми проволоками является сила сварочного тока. Проведенные эксперименты показали, что на изменение силы сварочного тока существенное влияние оказывают геометрические параметры проволоки и химический состав порошкового сердечника.

В настоящее время, ввиду отсутствия расчетной методики, определение величины силы сварочного тока при соединении секций трубопроводов с применением порошковых проволок осуществляется экспериментальным путем. Основными недостатками экспериментального способа являются:

- существенные затраты сварочных материалов и металлопроката на изготовление опытных образцов;
- дополнительные затраты на сбор и утилизацию отработанных материалов;
- повышенный расход электроэнергии;
- затраты связанные с организацией и обработкой эксперимента.

Поэтому разработка расчетной методики взамен экспериментального подбора режимов сварки, позволит избежать непредвиденных расходов при внедрении новых марок порошковых проволок. Это существенно снизит затраты связанные с внедрением инноваций

в процесс соединения стыков трубопроводов с применением порошковых проволок.

При проведении экспериментов установлено, что сила сварочного тока зависит от конструктивных особенностей порошковой проволоки и химического состава сердечника.

При плавлении порошковых проволок во время сварки стыков трубопроводов, величина силы сварочного тока должна быть достаточной для равномерного расплавления оболочки проволоки и порошкового сердечника, а также обеспечения полного проплавления кромок монтажного трубного стыка. При этом необходимо обеспечивать минимально возможное тепловложение в основной металл, с целью обеспечения требуемых прочностных характеристик стыка секции трубопровода.

Процесс плавления порошковой проволоки схож с процессом плавления покрытых электродов. Сердечник порошковых проволок во многом напоминает покрытие сварочных электродов, за исключением применения формовочных добавок и связующих компонентов. Поэтому, логично предположить, что и процессы, протекающие при плавлении порошковых проволок во многом будут схожи с процессами, протекающими при сварке стыков трубопроводов покрытыми электродами.

Как было установлено, одним из основных параметров определяющим производительность, энерго- и ресурсоемкость сварочных работ с применением порошковых проволок является сила сварочного тока $I_{св}$, зависящая от диаметра электрода и следующих факторов:

- диаметра;
- удельного сопротивления на вылете;
- формы и площади поперечного сечения;
- вылет электрода;
- химический состав порошкового наполнителя;
- конструктивных особенностей.

Следовательно, для определения силы сварочного тока необходимо учитывать все вышеперечисленные факторы.

Анализ экспериментальных данных в программно-вычислительном комплексе Mathcad позволил построить номограммы зависимости силы сварочного тока от диаметра и толщины оболочки.

Путем аппроксимации полученных графиков (рис. 3–8) была получена искомая математическая модель, описываемая полиномом четвертой степени, причем достоверность аппроксимации в среднем составила $R^2=0,986$.

Таким образом, разработанная математическая модель определения силы тока в зависимости от диаметра, толщины оболочки, химического состава порошкового наполнителя-сердечника, имеет следующий вид:

$$y=ax^4+bx^3+cx^2+dx+e$$

где y — соответствует искомой функции, т.е. $I_{св}$, А;

Разработанные авторами коэффициенты a, b, c, d, e учитывают изменения силы сварочного тока от толщины оболочки, химического состава сердечника, конструктивных особенностей проволоки и диаметра самой трубчатой оболочки;

x — соответствует диаметру порошковой проволоки с установленной толщиной оболочки.

Для исследуемого процесса согласно рис. 3: - при $h_1=0,2$ и величине достоверности аппроксимации $R^2=0,968$

$$y=-3.3771x^4+64.151x^3-426.71x^2+1172.5x-868.32 \quad (1)$$

Подставляя вместо x и y в выражение 1. значение действительных величин, получили:

$$I_{св}=-3.3771d^4+64.151d^3-426.71d^2+1172.5d-868.32 \quad (2)$$

- при $h_1=0,3$ и величине достоверности аппроксимации $R^2=1$

$$y=-13.7x^4+286.6x^3-2180.3x^2+7125.4x-8102 \quad (3)$$

$$I_{св}=-13.7d^4+286.6d^3-2180.3d^2+7125.4d-8102 \quad (4)$$

- при $h_1=0,5$ и величине достоверности аппроксимации $R^2=1$

$$y=-9.1667x^4+163.33x^3-1043.3x^2+2789.2x-2935 \quad (5)$$

$$I_{св}=-9.1667d^4+163.33d^3-1043.3d^2+2789.2d-2935 \quad (6)$$

Для исследуемого процесса рис. 4: - при $h_1=0,2$ и величине достоверности аппроксимации $R^2=0,9229$

$$y=2,551x^4-44,155x^3+265,89x^2-637,85x-750,65 \quad (7)$$

$$I_{св}=2,551d^4-44,155d^3+265,89d^2-637,85d-750,65 \quad (8)$$

- при $h_1=0,3$ и величине достоверности аппроксимации $R^2=1$

$$y=0,8333x^4-2,9167x^3-90,833x^2+672,92x-890 \quad (9)$$

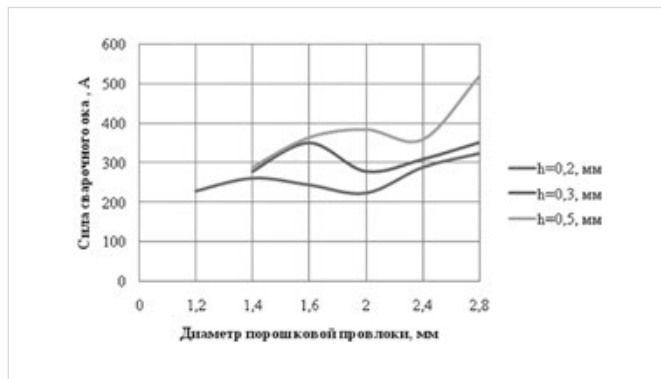


Рис. 3 — Зависимость среднего значения силы тока от внешнего диаметра порошковой проволоки с толщиной оболочки $h_1 = 0,2-0,5$ и рутитовым типом сердечника

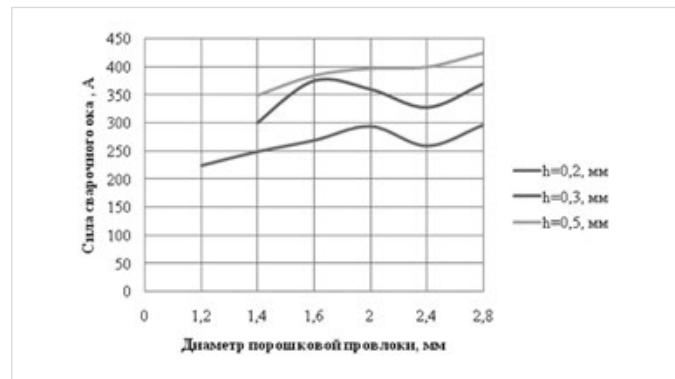


Рис. 4 — Зависимость среднего значения силы тока от внешнего диаметра порошковой проволоки с толщиной оболочки $h_1 = 0,2-0,5$ и рутил-флюоритным типом сердечника

$$I_{св} = 0,8333d^4 - 2,9167d^3 - 90,8333d^2 + 672,92d - 890 \quad (10)$$

- при $h_1 = 0,5$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = 0,8333x^4 - 12,917x^3 + 62,917x^2 - 73,333x - 285 \quad (11)$$

$$I_{св} = 0,8333x^4 - 12,917x^3 + 62,917x^2 - 73,333x - 285 \quad (12)$$

Для исследуемого процесса рис. 5:
- при $h_1 = 0,2$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9771$

$$y = 0,7292x^4 - 4,9769x^3 - 15,104x^2 + 143,99x + 24,524 \quad (13)$$

$$I_{св} = 0,7292d^4 - 4,9769d^3 - 15,104d^2 + 143,99d + 24,524 \quad (14)$$

- при $h_1 = 0,3$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = -7,3438x^4 + 231,67x^3 - 1723,8x^2 + 5508,3x - 6075 \quad (15)$$

$$I_{св} = -7,3438d^4 + 231,67d^3 - 1723,8d^2 + 5508,3d - 6075 \quad (16)$$

- при $h_1 = 0,5$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = 0,8333x^4 - 12,917x^3 + 62,917x^2 - 73,333x - 285 \quad (17)$$

$$I_{св} = 0,8333x^4 - 12,917x^3 + 62,917x^2 - 73,333x - 285 \quad (18)$$

Для исследуемого процесса рис. 6:
- при $h_1 = 0,2$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9835$

$$y = -7,3438x^4 + 136,05x^3 - 881,09x^2 + 2322,4x - 1845,4 \quad (19)$$

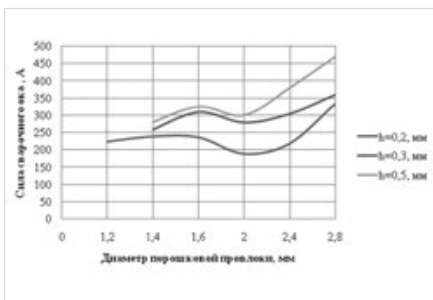


Рис. 5 — Зависимость среднего значения силы тока от внешнего диаметра порошковой проволоки с толщиной оболочки $h_1 = 0,2-0,5$ и карбонатно-флюоритным типом сердечника

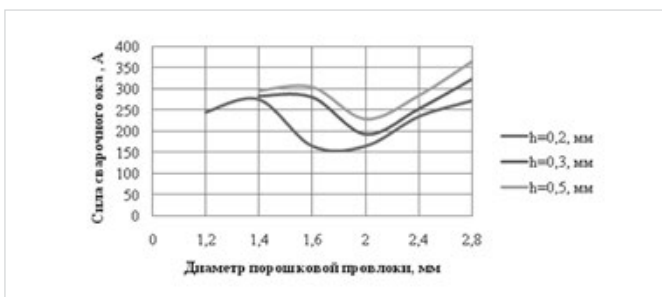


Рис. 6 — Зависимость среднего значения силы тока от внешнего диаметра порошковой проволоки с толщиной оболочки $h_1 = 0,2-0,5$ и рутил-органическим типом сердечника

$$I_{св} = -7,3438d^4 + 136,05d^3 - 881,09d^2 + 2322,4d - 1845,4 \quad (20)$$

- при $h_1 = 0,3$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = -15,417x^4 + 316,25x^3 - 2342,1x^2 + 7388,8x - 8092,5 \quad (21)$$

$$I_{св} = -15,417d^4 + 316,25d^3 - 2342,1d^2 + 7388,8d - 8092,5 \quad (22)$$

- при $h_1 = 0,5$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = -13,292x^4 + 274,92x^3 - 2051,7x^2 + 6525,1x - 7160 \quad (23)$$

$$I_{св} = -13,292d^4 + 274,92d^3 - 2051,7d^2 + 6525,1d - 7160 \quad (24)$$

Для исследуемого процесса рис. 7:
- при $h_1 = 0,2$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9501$

$$y = -4,479x^4 + 83,866x^3 - 552,4x^2 + 1510,2x - 1186,3 \quad (25)$$

$$I_{св} = -4,479d^4 + 83,866d^3 - 552,4d^2 + 1510,2d - 1186,3 \quad (26)$$

- при $h_1 = 0,3$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = -18,75x^4 + 380,42x^3 - 2798,8x^2 + 8829,6x - 9732,5 \quad (27)$$

$$I_{св} = -18,75d^4 + 380,42d^3 - 2798,8d^2 + 8829,6d - 9732,5 \quad (28)$$

- при $h_1 = 0,5$ и величине достоверности аппроксимации $R^2 = 1$

$$y = -16,208x^4 + 324,5x^3 - 2346,3x^2 + 7268x - 7780 \quad (29)$$

$$I_{св} = -16,208d^4 + 324,5d^3 - 2346,3d^2 + 7268d - 7780 \quad (30)$$

Как видно из выражений 1–30 значение силы тока во всех рассматриваемых случаях при переменной « $x = 1,2-2,8$ » зависит от коэффициентов a, b, c, d и e , значение которых описывает влияние химического состава сердечника и конструктивных особенностей порошковой проволоки на изменение силы сварочного тока при соединении стыков секций магистральных трубопроводов.

При расчете силы сварочного тока при ручной дуговой сварке, сила сварочного тока определяется произведением диаметра электрода и безразмерного коэффициента « K »,

зависящего от диаметра сварочного электрода.

При сварке порошковыми проволоками, количество факторов влияющих на величину силы сварочного тока значительно больше, чем при сварке проволоками сплошного сечения и покрытыми электродами. Поэтому для описания влияния этих факторов на изменение силы сварочного тока авторами было предложено ввести коэффициент $K_{пн}$.

После упрощения выражений 1–30, формула для расчета силы сварочного тока приняла следующий вид:

$$I_{св} = K_{пн} \cdot d_{эл} \quad (31)$$

где $K_{пн}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий особенности плавления порошковых проволок.

Учитывая, что при сварке корня шва требуется достижение полного проплавления кромок, то как правило режимы сварки увеличивают.

Поэтому для сварки корневого шва выражение 31 примет вид:

$$I_{св} = K_{пн} \cdot d_{эл} \cdot K_{ув} \quad (32)$$

где $K_{ув}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение силы сварочного тока при сварке корневых проходов сварных стыков магистральных трубопроводов.

Как показал анализ режимов сварки порошковыми проволоками, изменение режимов сварки корневого слоя отличается от режимов сварки заполняющих слоев на 25–40%. Следовательно, коэффициент $K_{ув} = 1,25-1,4$.

Таким образом, коэффициент $K_{пн}$ описывает взаимное влияние таких факторов как химический состав сердечника и конструктивные особенности строения проволоки на изменение силы сварочного тока.

В таб. 1 приведены значения коэффициента полученные путем математической обработки данных проведенных экспериментов.

Анализ данных таб. 1 показал, что коэффициент $K_{пн}$ наибольшее влияние на изменение величины силы сварочного тока оказывают диаметр и химический состав сердечника порошковой проволоки.

Итоги

Проведенные исследования позволили получить рабочую формулу для определения силы сварочного тока при электродуговой сварке магистральных трубопроводов с применением порошковых проволок.

Выводы

1. Проведенные эксперименты показали, что при сварке порошковыми проволоками существенное влияние на изменение силы сварочного тока оказывает комплексное

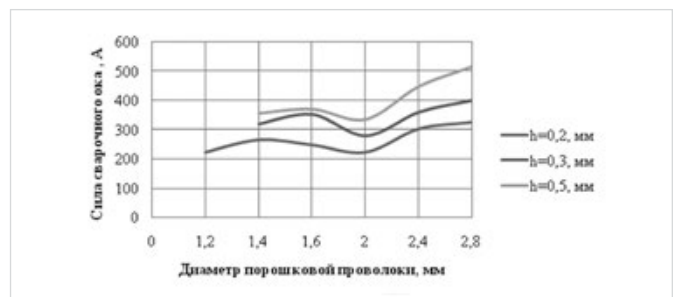


Рис. 7 — Зависимость среднего значения силы тока от внешнего диаметра порошковой проволоки с толщиной оболочки $h_1 = 0,2-0,5$ и металлопорошковым типом сердечника

изменение таких факторов как: геометрические параметры проволоки, химический состав порошкового наполнителя.

2. Анализ номограмм построенных на основе математической обработки экспериментальных данных показал, что искомая математическая модель имеет форму полинома 4 степени. Это подтверждает гипотезу о комплексном воздействии геометрических параметров проволоки и химического состава порошкового наполнителя на изменение силы сварочного тока.

3. Полученные выражения позволяют с высокой точностью определять значение силы сварочного тока при сварке стыков секций трубопроводов с использованием порошковых проволок, что существенно снижает затраты времени и материально-технических ресурсов на определение искомого параметра.

на нефтегазовых объектах»: Учебное пособие. ТюмГНГУ, 2012. 272 с.

2. Тарахов, Н.А. Сидлин, А.Д., Романов З.А. Производство металлических электродов. М.: Высш. шк., 1986. 288 с.
3. Походня И.К., Суптель А.М., Шлепаков В.Н. Сварка порошковой проволокой. Киев: Наукова думка, 1972. 215 с.
4. Юзвенко Ю.А., Кирилук Г.А., Кривченков С.Ю. Модель плавления самозащитной порошковой проволоки // Автоматическая сварка. 1983. № 1. с. 26–29.

Список используемой литературы

1. Рыбин В.А., Галинский А.А., Земенков Ю.Д. Нано- и энергосберегающие технологии сварочного производства

С	Толщина оболочки h_1 , мм.	Тип порошковой проволоки в зависимости от химического состава				
		Рутитовые	Рутил-флюоритные	Карбонатно-флюоритные	Рутил-органические	Металло-порошковые
Ø1,2	0,2	К:149,4–166,4	К:124,7–168	К:122,08–178,54	К:133,28–177,12	К:150,42–167,25
		З:149,41–166,4	З:161,25–176,96	З:122,1–178,6	З:154,7–194,34	З:146,06–162,79
Ø1,4	0,2	К:133,8–171	К:120,4–168	К:113,36–153,68	К:133,28–184,5	К:137,34–171,71
		З:133,8–171	З:120,4–168	З:113,4–164,98	З:133,3–184,5	З:132,98–171,71
Ø1,6	0,2	124,88–182,4	154,8–181,44	119,9–178,54	92,82–113,16	124,26–187,32
	0,3	191,78–250,8	217,15–250,88	185,3–246,34	130,9–159,9	185,3–251,99
Ø2,0	0,2	100,35–125,4	124,7–170,24	89,38–101,7	69,02–93,48	100,28–124,88
	0,3	115,96–164,16	167,7–192,64	111,18–122,04	90,44–103,32	115,54–165,02
	0,5	175–210	187,32–209,76	124,88–177,84	109,27–120,84	174,4–209,62
Ø2,4	0,2	115,96–125,4	90,3–125,44	74,12–108,48	90,44–103,32	115,54–136,03
	0,3	140,5–157,32	124,7–147,84	115,54–142,38	99,96–110,7	141,7–158,33
	0,5	165,02–207,48	144,95–186,96	149,41–166,44	107,04–127,68	161,32–209,62
Ø2,8	0,2	107,04–125,4	90,3–123,2	113,36–126,56	85,68–108,24	106,82–127,11
	0,3	124,88–161,88	120,4–143,36	124,26–137,86	104,72–123	124,26–160,56
	0,5	165,02–207,48	142,72–161,88	160,56–173,28	120,42–139,08	163,5–207,39

Таб. 1 — Значение коэффициента $K_{пп}$ в зависимости от химического состава сердечника и конструктивных особенностей порошковой проволоки

ENGLISH

WELDING

Technique of definition of welding current when connecting joints of trunk pipelines using flux-cored wires

UDC 621.791.042.3

Authors:

Vasiliy A. Rybin — assistant professor¹; vtec11@mail.ru

Vadim A. Ivanov — doctor of technical sciences, professor²; Ivanov_V_A@list.ru

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

Abstract

Lack of methodology selection of the most rational modes of welding flux-cored wires, leads to a substantial increase in the cost of introducing new samples of these materials in the technological process of welding works on trunk pipelines.

Materials and methods

Flux-cored wire welding.

Results

Carried out researches allowed to get a working formula to determine the welding current for arc

welding of trunk pipelines using flux cored wires.

Conclusions

1. The experiments showed that a significant effect to change welding current in welding flux-cored wires has a complex changing of such factors as: geometrical parameters of wire and the chemical composition particulate filler.
2. Analysis of nomograms constructed on the basis of mathematical processing of the experimental data showed that the required mathematical model takes the form of a polynomial of degree 4. It confirms the

hypothesis that geometric parameters of the combined action of wire and the chemical composition particulate filler to change welding current.

3. Obtained expressions allows to accurately determine the value of welding current in welding joints of the sections of pipelines using flux cored wires, which significantly reduces the time and cost of material and technical resources for the definition of the desired parameter.

Keywords

electric arc welding, flux-cored wire

References

1. Rybin V.A., Galinskiy A.A., Zemenkov Yu.D. *Nano- i energosberegayushchie tekhnologii svarchnogo proizvodstva na neftegazovykh ob"ektakh*: *Uchebnoe posobie* [Nano- and energy-saving technology of welding production at oil and gas facilities: Manual]. TyumGNGU, 2012. 272p.
2. Tarakhov, N.A. Sidlin, A.D., Romanov Z.A. *Proizvodstvo metallicheskih elektrodov* [Production of metal electrodes]. Moscow: Vyssh. shk., 1986. 288 p.
3. Pokhodnya I.K., Suptel' A.M., Shlepakov V.N. *Svarka poroshkovoy provolokoy* [Cored welding wire]. Kiev: *Naukova dumka*, 1972. 215 p.
4. Yuzvenko Yu.A., Kirilyuk G.A., Krivchenkov S.Yu. *Model' plavleniya samozashchitnoy poroshkovoy provoloki* [Model of self-shielded flux-cored wire melting]. *Avtomaticheskaya svarka*. 1983. Issue 1. pp. 26–27