

Изобретение относится к сварочным материалам преимущественно для сварки под водой и может быть использовано для механизированной сварки металлоконструкций при выполнении подводно-технических работ.

Известна порошковая проволока для сварки металлов под водой ППС-АН1 [Авт.св. СССР № 424393, кл. В 23 К 35/36], в состав которой входят компоненты в следующем соотношении, мас. %:

Титановый концентрат	25-35	
Гематит	15-25	
Ферромарганец	5-15	
Железный порошок	34-44	
Двухромовокислый калий		0,7-1,3

Данная проволока позволяет сваривать под водой низкоуглеродистые стали типа ВСтЗсп и некоторые низколегированные стали типа 09Г2. Однако в судостроении и при производстве труб для транспортировки нефти и газа широко применяются высокопрочные низколегированные стали типа 10ХСНД, 17ГС, Х60, Х70 и т.д. Неудовлетворительная прочность сварных соединений и появление трещин в околошовной зоне не дает возможности использовать проволоку ППС-АН1 для сварки указанного класса сталей под водой.

Наиболее близкой к заявляемому по составу компонентов шихты является порошковая проволока для сварки сталей [Патент РФ № 2012469, кл. В 23 К 35/36] со следующим соотношением компонентов шихты, мас. %:

Фторид кальция	40-49
Фторид лития	5-11
Фторид кобальта	0,5-2,0
Углекислый кальций	5-8
Двуокись кремния	4-6
Алюминий	9-11
Молибден	7-10
Никель	1,5-3,0
Железный порошок	13-15

Недостатком этой проволоки являются низкие механические свойства металла шва при сварке вышеуказанных сталей под водой.

Цель изобретения - повысить качество сварного соединения.

Цель достигается тем, что порошковая проволока для сварки сталей, состоящая из металлической оболочки и порошковой шихты, содержащей фторид кальция, фторид лития, фторид кобальта, углекислый кальций, двуокись кремния, алюминий, молибден, никель, дополнительно содержит феррохром при следующем соотношении компонентов, мас. %:

Фторид кальция	40-49
Фторид лития	5-11
Фторид кобальта	0,5-2,0
Углекислый кальций	5-8
Двуокись кремния	4-6
Алюминий	9-11
Молибден	7-10
Никель	1,5-3,0
Феррохром	13-15

коэффициент заполнения порошковой проволоки составляет 30-35%.

В качестве материала металлической оболочки или проволочного элемента применяют сплавы никеля и кобальта.

Сплав никеля и кобальта представляет собой однофазный твердый раствор с гране - центрированной кубической решеткой, стойкой к фазовым превращениям до -70°C.

Добавка кобальта в аустенитных сплавах улучшает свойства металла шва, уменьшает закаливаемость. При этом твердость шва не только увеличивается, но даже снижается, что очень важно при сварке сталей под водой.

Сплав никеля и кобальта используется при изготовлении порошковой проволоки в качестве оболочки или как проволочный элемент диаметром 0,1 мм и более, не превышающим внутренний диаметр оболочки порошковой проволоки.

Проволоки используются в данном сварочном материале также с целью устранения отставания плавления сердечника от плавления металлической оболочки и увеличения эффективности защиты расплавленного металла от влияния окружающей среды.

Феррохром [ГОСТ 4757-79, марка ФХ800СА] при сварке сталей повышенной прочности является основным легирующим элементом. Повышение прочности и пластичности металла шва может быть достигнуто без большого изменения других характеристик при содержании феррохрома в шихте 13-15%. Введение феррохрома менее 13% отрицательно сказывается на качестве сварных швов, превышение 15% вызывает пористость.

Кобальт дифтористый четырехводный ($\text{CoF}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) вводят в шихту в виде порошка, поставляемого Ленинградским заводом "Красный химик" по ТУ 6-09-01-229-84.

Фтористый кобальт, попадая в реакционную зону, разлагается на атомарные кобальт и фтор. Кобальт является основным легирующим элементом, повышая коэффициент диффузии в аустените и упрочняя металлическую основу, увеличивает критическую скорость закалки и уменьшает закаливаемость. Фтор

соединяется с водородом, образуя нерастворимый в металле фтористый водород. При этом содержание водорода в металле шва уменьшается, что в свою очередь повышает качество сварного соединения.

Введение фтористого кобальта менее 0,5% не сказывается на качестве сварных швов. При введении его более 2% ухудшается формирование шва. Введение фтористого кобальта в рекомендуемых пределах способствует получению бездефектных швов.

Никель [ГОСТ 9722-79, марка ПНЭ-1] используется в качестве легирующей составляющей. Содержание его в шихте в пределах 1,5-3% повышает ударную вязкость и коррозионную стойкость металла шва. Изменение процентного соотношения приводит к снижению показателей механических свойств сварного соединения.

Фтористый литий [ТУ 6-09-170-77, марка ИК], попадая в реакционную зону, разлагается на атомарные литий и фтор. Литий является эффективным элементом, стабилизирующим горение дуги; фтор, соединяясь с водородом, образует нерастворимый в металле фтористый водород.

Введение фтористого лития менее 1,5% отрицательно сказывается на качестве сварных швов. Так, например, ударная вязкость металла шва при (-40)°С будет менее 30 Дж/см. Введение фтористого лития в количестве, превышающем 3%, вызывает пористость.

Алюминий [ТУ 48-5-152-78, марка АПВ] снижает содержание кислорода в металле. Введение его в количестве, не превышающем 9%, не оказывает существенного влияния на механические свойства швов. Если ввести больше 11 % в шихту порошковой проволоки, то алюминий, частично окисляясь в зоне горения дуги, увеличивает в наплавленном металле количество тугоплавкой окиси алюминия. Располагаясь по границам феррита и являясь остроугольными включениями неправильной формы, окись алюминия оказывает действие как интерметаллические прослойки, снижая пластические свойства швов.

Фтористый кальций [ГОСТ 4421-73, марка ФФС-975] предназначен для создания шлаковой защиты. Важным свойством данного компонента является химическая инертность по отношению к аустенитному металлу шва, сочетающаяся со способностью интенсивно взаимодействовать с водяным паром с образованием фтороводорода. Последнее способствует полному устранению склонности металла шва к порообразованию. Оптимальное количество фтористого кальция в шихте 40-49%.

Молибден [ТУ 48-19-316-80], являющийся хорошим ферризатором, введен для получения ферритной составляющей, улучшающей свойства металла. Оптимальное количество его в предлагаемой шихте 7-10%. Изменение процентного соотношения в сторону уменьшения или увеличения данного компонента приводит к ухудшению механических свойств металла шва.

Углекислый кальций [ГОСТ 45320-76] улучшает термоэлектронную и термоионную эмиссию в заданных пределах 5-8%, повышает стабильность горения дуги. Двуокись кремния [ГОСТ 9428-73], введенная в шихту в пределах 4-6%, повышает химическую активность компонентов и улучшает их формирующие свойства.

Заявляемая порошковая проволока принципиально нового состава, технологична в изготовлении и высокоэффективна.

Для проведения испытаний были изготовлены 6 вариантов порошковой проволоки предлагаемого состава (см. таблицу) из никелевой ленты НП-2 ГОСТ 2170-73.

Химический анализ выполнен по ГОСТ 492-73. Размер ленты 0,3х8 мм. Состав, мас. %: N + Co - 99,5; Cu - 0,02; Fe - 0,02; Mn - 0,05; Mo - 0,02; S1 - 0,06; Zn - 0,004; S - 0,005; So - 0,002; P - 0,002; B - 0,002; As - 0,002; Ca - 0,002; Sn - 0,002; Pb - 0,002.

Компоненты шихты и показатели качества приведены в таблице. Шестой вариант порошковой проволоки был изготовлен с шихтой № 3 и сердечником из проволоки сплошного сечения диаметром 0,15 мм (сплав 29 НК ГОСТ 10994-74, 28,5 - 29,5% Ni; 17,0-18,0% Co).

Металл для исследования получали наплавкой на пластины из стали типа Х70 или сваркой стыковых швов под водой постоянным током прямой полярности на режиме: I = 160-200 А, U_д = 32-34 В, V_{св} = 7 м/ч.

Химический состав наплавленного металла определялся по известным методикам химического и спектрального анализа.

Микроструктура использовалась на образцах из средней части стыка. Травление осуществлялось электрически в растворах хлорного железа и сернокислого аммония, а также в растворе азотной кислоты.

Механические свойства наплавленного металла на разрыв определяли на круглых образцах диаметром рабочей части 5 мм и длиной 25 мм, твердость по Виккерсу замерялась алмазной пирамидой при нагрузке 10 кг и выдержке 10 с.

В результате испытаний установлено, что хорошими сварочно-технологическими свойствами обладают электродные проволоки составов 2, 3, 4 и 6. Наплавленный указанными порошковыми проволоками металл со структурой легированного аустенита не имеет пор, шлаковых включений и других дефектов. При изучении макрошлифов, выполненных проволокой состава 1 и 2 обнаружены подваликовые трещины, шлаковые включения и поры, дуга горит нестабильно. Учитывая вышеизложенное, состав 3 порошковой проволоки признан оптимальным.

Данные осциллографирования тока и напряжения при сварке под водой порошковой проволокой с заявляемой шихтой свидетельствуют о высокой стабильности горения дуги.

При использовании решения - прототипа величина токовых бросков заметно возрастает, а продолжительность их сокращается. Таким образом, результаты испытаний свидетельствуют о том, что предложенный состав обеспечивает более высокие сварочно-технологические характеристики и механические свойства сварного соединения по сравнению с прототипом.

Сварка проводилась полуавтоматом А1660 с использованием источника питания ВДУ-504 на глубине до 10 м.

Механические свойства швов, выполненных под водой проволокой-прототипом и заявляемой порошковой проволокой (состав 3) с металлическим сердечником из сплава 29НК на стали Х70, приведены в таблице.

В настоящее время заявляемый объект прошел лабораторные испытания и опытно-промышленную проверку при ремонте морской стационарной платформы № 15 в акватории Каспийского моря.

Компоненты шихты и показатели качества	Прото-тип	Содержание, %, в составе					
		1	2	3	4	5	6*
Фтористый кальций		50	49	46	40	39	46
Фтористый литий		12,6	11	8	5	4	8
Фтористый кобальт		0,4	0,5	1	2	2,1	1
Углекислый кальций		4,5	5	6	8	8,1	6
Двуокись кремния		3,5	4	5	6	6,1	5
Алюминий		8,5	9	10	11	11,1	10
Молибден		6,5	7	8	10	10,1	8
Никель		1,4	1,5	2	3	4	2
Феррохром		12,6	13	14	15	15,5	14
σ_b , МПа	687	664	675	693	681	655	794
σ_t , МПа	430	421	439	440	434	422	459
δ , %	46,2	41,5	49,6	51,4	42,1	39,0	54,1
КСИ, Дж/см ² при +20°C	147	145	167	178	177	168	182
Наличие пор в шве и других дефектов	Нет	Есть	Нет	Нет	Нет	Есть	Нет

П р и м е ч а н и е. * Порошковая проволока с сердечником.