

Изобретение относится к области металлургии сварки, а именно к разработке новых материалов для сварочного производства, преимущественно для дуговой сварки в активных газах конструкций из легированных высокопрочных сталей.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является состав электродной проволоки для сварки в активных газах конструкций из легированных высокопрочных сталей, включающий следующие компоненты, мас. %:

<b>Углерод</b>	<b>0,04 – 0,14</b>
<b>Кремний</b>	<b>0,20 – 0,70</b>
<b>Марганец</b>	<b>0,60 – 1,80</b>
<b>Хром</b>	<b>0,20 – 0,65</b>
<b>Никель</b>	<b>2,10 – 3,40</b>
<b>Молибден</b>	<b>0,35 – 0,70</b>
<b>Ванадий</b>	<b>0,01 – 0,07</b>
<b>Титан</b>	<b>0,01 – 0,15</b>
<b>Алюминий</b>	<b>0,005 – 0,15</b>
<b>Кальций</b>	<b>0,02 – 0,08</b>
<b>Азот</b>	<b>0,005 – 0,015</b>
<b>Железо</b>	<b>Остальное</b>

Сварочная проволока известного химического состава позволяет получить достаточно высокие прочностные характеристики сварного шва (предел текучести - до 850 Н/мм<sup>2</sup>) и повышенное сопротивление разупрочнению при отпуске. Однако существенными недостатками такой электродной проволоки являются пониженные характеристики пластичности и вязкости сварного шва и зоны термического влияния, а также повышенная склонность к образованию сварочных трещин. Это вызвано тем, что, во-первых, при сварке высокопрочных материалов, характеризующихся, как правило, очень мелкозернистой структурой, возникают значительные структурные напряжения из-за различий размера зерна основного металла и зерна сварного шва, что приводит к снижению пластичности и повышает склонность металла зоны термического влияния к трещинообразованию, а, во-вторых, из-за наличия в металле электродной проволоки значительного количества азота (до 0,015%) при кристаллизации жидкого металла образуются грубые (размером несколько микрон) остроугольной формы нитриды титана и ванадия, являющиеся концентраторами напряжений в металле сварного шва, что также приводит к снижению пластичности и ударной вязкости. Кроме того, в известной сварочной проволоке высокий уровень прочностных свойств сварного шва достигнут за счет повышенного легирования никелем и ванадием, что связано с расходом столь дефицитных легирующих элементов, особенно для Украины.

Задачей настоящего изобретения является повышение пластичности, вязкости и снижение склонности наплавленного металла шва к трещинообразованию при экономии дефицитных легирующих элементов.

Изобретение характеризуется тем, что в состав известной сварочной проволоки, содержащей углерод, кремний, марганец, хром, никель, молибден, титан, алюминий, кальций и железо, дополнительно вводят 0,002-0,005% бора и 0,001-0,01% иттрия, кроме того, несколько повышают содержание марганца - до 1,70-2,4% и хрома - до 0,50-0,80% и значительно снижают содержание никеля до 0,70-2,50%, а также исключают из состава ванадий при следующем соотношении компонентов, мас. %:

<b>Углерод</b>	<b>0,04 – 0,14</b>
<b>Кремний</b>	<b>0,20 – 0,70</b>
<b>Марганец</b>	<b>1,70 – 2,40</b>
<b>Хром</b>	<b>0,50 – 0,80</b>
<b>Никель</b>	<b>0,70 – 2,50</b>
<b>Молибден</b>	<b>0,35 – 0,70</b>
<b>Титан</b>	<b>0,01 – 0,15</b>
<b>Алюминий</b>	<b>0,005 – 0,15</b>
<b>Кальций</b>	<b>0,02 – 0,08</b>
<b>Бор</b>	<b>0,002 – 0,005</b>
<b>Иттрий</b>	<b>0,001 – 0,01</b>
<b>Железо</b>	<b>Остальное</b>

Сущность заявляемого технического решения заключается в том, что в состав сварочной проволоки дополнительно вводят бор и иттрий при корректировке содержания марганца, хрома и никеля.

При введении бора в количестве 0,002-0,005% его атомы препятствуют диффузионному расслоению расплава перед кристаллизацией, вследствие чего значительно уменьшается ликвация углерода и легирующих элементов, образующих в матрице твердый раствор замещения. Кроме того, бор, концентрируясь главным образом на межзеренных границах, действует как эффективный ингибитор роста зерна при сварочном нагреве, что повышает вязкость и пластичность металла шва, а также понижает уровень термических и структурных напряжений, а, следовательно, и вероятность возникновения холодных трещин при сварке.

При введении в проволоку бора менее 0,002% не обеспечивается в требуемой степени измельчение зерна и подавление диффузионных процессов перед кристаллизацией расплава - в результате ухудшается пластичность и вязкость металла, увеличивается склонность к образованию холодных трещин. Повышение содержания бора более 0,005% дальнейшего положительного влияния не оказывает.

Введенный в состав проволоки иттрий в количестве 0,001-0,01%, имея большее сродство к азоту по сравнению с другими нитридообразующими элементами (титаном и др.), связывает растворенный в металле

азот и действует, таким образом, как эффективный рафинирующий агент, обеспечивающий существенное повышение пластичности и вязкости стали. Причем иттрий связывает азот в нитриды, которые как по дисперсности, так и по свойствам значительно отличаются от нитридов других элементов. Поэтому в результате образования более дисперсных и пластичных нитридов иттрия значительно уменьшается вероятность зарождения трещин на границе нитрид-матрица.

Введение в проволоку менее 0,001 % иттрия не обеспечивает связывания оптимального количества азота, происходит образование крупных нитридов титана, увеличивается вероятность образования трещин. Повышение содержания иттрия в стали более 0,01% практически не оказывает влияния на ее механические свойства.

Повышение содержания в составе проволоки марганца до 1,70-2,40% и хрома до 0,50-0,80% позволяет исключить из состава ванадий и понизить содержание никеля до 0,70-2,50% при сохранении на требуемом уровне прочностных характеристик сварного шва. При введении в состав электродной проволоки менее 1,70% марганца, 0,50% хрома и 0,70% никеля снижаются ниже допустимого уровня прочностные свойства, а при введении более 2,40% марганца, 0,80% хрома и 2,50% никеля ухудшается стойкость против образования трещин, а также увеличивается расход легирующих элементов.

Требуемая прочность металла шва, получаемого при механизированной сварке в защитных газах электродной проволокой предлагаемого состава достигается за счет введения строго дозированных количеств марганца, кремния, хрома, молибдена при ограниченном содержании углерода не более 0,14%. При содержании последнего выше 0,14% ухудшаются показатели вязкости шва и резко усиливается его склонность к образованию горячих трещин. Введение кремния в количестве 0,2-0,7% обусловлено получением достаточно высоких сварочно-технологических свойств предлагаемой проволоки. Молибден в количестве 0,35-0,70% помимо сильного упрочняющего воздействия при указанных содержаниях никеля и марганца в проволоке повышает вязкость и пластичность сварного шва. Добавка небольших количеств титана (0,01-0,15%) повышает стойкость шва против образования горячих трещин, что обусловлено его модифицирующими свойствами. Кроме того, титан является хорошим десульфуратором, связывая серу в тугоплавкие сульфиды, в результате чего уменьшается возможность образования легкоплавких сернистых эвтектик. На вязкость шва титан в указанных количествах влияния не оказывает. Небольшие добавки Al в количестве (0,005-0,15)% и кальция в количестве (0,02-0,08)%, обладая высоким сродством к кислороду, позволяют уменьшить содержание неметаллических включений в сварном шве, повышая тем самым его пластичность и вязкость.

Таким образом, совокупность существенных отличительных признаков заявляемого технического решения позволяет повысить пластичность, вязкость и снизить

склонность наплавленного металла шва к трещинообразованию при экономии дефицитных легирующих элементов.

Предлагаем пример конкретного использования заявляемого состава электродной проволоки для сварки.

В условиях экспериментального производства было выплавлено несколько плавок сталей и изготовлены сварочные проволоки диаметром 1,2 мм. Испытывали три состава проволок (табл. 1, составы 2-4) в соответствии с изобретением, а также два состава проволок, состоящих из тех же компонентов, но в процентном отношении, выходящем за пределы, установленные изобретением (табл. 1, составы 1 и 5). Испытания проводили при механизированной сварке в смеси  $Ar + (20-25)\% CO_2$  высокопрочной экономнолегированной стали 17Х2ГМБ следующего химического состава, мас. %: 0,17 углерода; 0,34 кремния; 0,79 марганца; 1,72 хрома; 0,23 молибдена; 0,04 ниобия; 0,013 серы; 0,023 фосфора. Сварку пластин 300 × 100 × 20 мм выполняли на режиме:  $I_{св} = 170-190$  А;  $U_d = 24-25$  В;  $V_{св} = 14-16$  м/ч; расход защитного газа - 15-18 л/мин.

Оценку механических свойств металла сварного шва производили по стандартной методике с дополнительными исследованиями на склонность к образованию холодных трещин путем испытаний технологических проб. Результаты исследований приведены в табл. 2.

На основе анализа проведенных испытаний установлено, что отличительные признаки заявляемого технического решения позволяют в 1,5-2 раза повысить пластичность и ударную вязкость металла шва, существенно снизить склонность к образованию холодных трещин и при этом значительно сэкономить дефицитные легирующие элементы.

Применение предлагаемой проволоки в производстве грузоподъемных машин и механизмов и строительно-дорожной техники позволяет улучшить качество сварных соединений и повысить эксплуатационную надежность сварных металлоконструкций.

Состав	Содержание химических элементов в электродной проволоке								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	Ti	Al
Известный	0,11	0,31	1,44	0,46	3,20	0,51	0,05	0,10	0,008
Заявляемый									
1	0,03	0,18	1,68	0,45	0,69	0,33	-	0,008	0,004
2	0,04	0,20	1,70	0,50	0,70	0,35	-	0,01	0,005
3	0,08	0,53	2,27	0,72	1,86	0,66	-	0,09	0,05
4	0,14	0,70	2,40	0,80	2,50	0,70	-	0,15	0,15
5	0,16	0,73	2,41	0,84	2,53	0,72	-	0,16	0,17

Т а б л и ц а 2

Состав	Механические свойства сварного шва					Наличие трещин, %
	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	KCV, Дж/см <sup>2</sup> при t°С		
				-40	-70	
Известный	945	850	10	30	22	80
Заявляемый						
1	930	845	13	37	30	30
2	960	900	15	58	46	0
3	990	920	17	61	49	0
4	1010	900	16	56	47	0
5	1045	945	14	42	35	20

П р и м е ч е н и е . Приведены результаты испытаний не менее 3-х образцов.