

УДК 621.791.927.5

Макаренко Н. А., Шепотько В. П., Постников Ю. В., Гроте Н. А., Грановская Н. А.

**УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, ВЫПОЛНЕННЫХ ЭЛЕКТРОДАМИ С ИЛЬМЕНИТОВЫМ ПОКРЫТИЕМ**

Металлоконструкции грузоподъемных кранов являются весьма ответственными изделиями, работающими в тяжелых условиях, в связи с чем при ремонте их способом сварки предъявляются к данной технологии восстановления жесткие требования. Как правило, при ремонте крановых металлоконструкций применяется ручная дуговая сварка покрытыми штучными электродами (ММА), в связи с чем решение проблемы повышения качества сварных швов при проведении ремонтных работ – актуальная задача.

В настоящее время для выполнения данных работ применяются, в основном, электроды, имеющие основную обмазку фтористо-кальциевого типа. Типичными представителями данного типа электродов являются электроды марки УОНИ, которые обеспечивают хорошее удаление из металла шва вредных примесей серы и фосфора, низкое содержание водорода (что особенно важно при сварке низколегированных сталей, из которых наиболее часто изготавливают крановые металлоконструкции.) Металл шва, выполненного этими электродами, имеет высокие пластические характеристики и достаточные механические прочностные свойства. В то же время, у электродов с обмазкой фтористо-кальциевого типа имеется ряд недостатков: они чувствительны к попаданию в зону сварки влаги, ржавчины, органических водородосодержащих веществ (смазка, краски и т. п.), в связи с чем нуждаются в тщательной подготовке зоны сварки. Следует отметить, что электроды с фтористо-кальциевым покрытием обеспечивают худшее формирование сварного шва по сравнению с электродами ильменитового типа. Однако при ремонте крановых конструкций электроды, имеющие покрытие ильменитового типа, нашли ограниченное применение (так как они не обеспечивают требуемые механические характеристики сварного соединения), в связи с чем возникла необходимость в исследованиях, направленных на улучшение качества сварного соединения, выполненного электродами с покрытием ильменитового типа, при этом, основное внимание уделялось снижению вредных примесей в металле шва.

Цель работы – комплексное решение проблем повышения качества сварных соединений при ремонте крановых металлоконструкций методами сварки покрытыми штучными электродами (ММА).

Как известно [1], водород эффективно связывается в труднодиссоциируемое соединение фтором (обычно для этих целей в состав обмазки электродов вводят плавиковый шпат и кварцевый песок [2]). При высоких температурах, характерных для дуговой сварки, данные вещества вступают в реакцию (1) [3].



Выделяющийся при этом тетрафторид кремния является газообразным веществом, активно реагирующим с влагой и связывающим водород в труднодиссоциируемое соединение HF по реакции (2) [4].



Оксид кальция, получающийся по реакции (1), имеет основную реакцию и хорошо связывает фосфор и серу, имеющие кислую реакцию.

Известно, что способность удалять серу и фосфор из жидкого металла у шлаков, содержащих ильменит (оксид титана), значительно ниже [5], причем сульфидная емкость шлака уменьшается с увеличением содержания в нем  $TiO_2$  [6], имеющего кислую реакцию. Следует отметить, что  $SiO_2$  также имеет кислую реакцию и снижает сульфидную емкость шлака [5]. Следовательно целесообразно ввести в покрытия ильменитового типа вещества, выделяющие при сварке активные фториды и имеющие основную реакцию. Таким веществом может быть фторборат кальция  $Ca(BF_4)_2$ , который при температурах сварки разлагается согласно реакции (3):



Образующийся вследствие протекания реакции (3) трифторид бора  $BF_3$  активно связывает водород, так как является газообразным веществом, что происходит согласно реакции (4):



Кроме того, трифторид бора хорошо связывает оксиды металлов, переводя их в легкоплавкие фториды и оксифториды [7]. В результате проведенных исследований было установлено, что в атмосфере дуги кроме трифторида бора  $BF_3$  содержатся  $BF_2$  и  $BF$ , а также свободный фтор и соединение серы  $SF_6$  (данное соединение образуется в результате реакции серы непосредственно с фтором):



Таким образом, введение фторбората кальция в состав обмазки электродов с ильменитовым типом покрытия является целесообразным.

Для проведения экспериментов были выбраны электроды марки АНОб, в шихту обмазки которых (одного замеса) вводился фторборат кальция (в массовых процентах от массы сухой шихты). Изготавливались электроды диаметром 4 мм. Сваривались образцы из стали 09Г2С (толщиной 8 мм) в нижнем положении на постоянном токе 160А обратной полярности. Сварка производилась от выпрямителя ВДМ1201, в сварочную цепь которого был включен балластный реостат РБ 302.

Исследовали металл шва на содержание серы и фосфора, а также проводились механические испытания сварных соединений.

Влияние фторбората кальция на содержание серы и фосфора в металле сварочного шва, показано на рис. 1.

Как следует из рис. 1, с увеличением содержания фторбората кальция в составе смазки содержание серы и фосфора в металле сварочного шва снижается, при этом при содержании фторбората кальция менее 2 % – это снижение незначительно. Исследования показали, что наиболее эффективно удаление серы и фосфора наблюдается при содержании фторбората кальция в диапазоне 2–6 %, после чего эффективность процессов уменьшается и при дальнейшем увеличении содержания фторбората кальция происходит лишь незначительное уменьшение серы и фосфора в металле шва.

Учитывая, что пределы прочности и текучести металла сварочных швов, выполненных электродами, имеющими фтористокальцевое и ильменитовое покрытие (УОНИ и АНО-6) практически идентичны [8], исследований в данном направлении не проводилось. В тоже время, вышеуказанные электроды обеспечивают металл сварного шва резко отличающийся по ударной вязкости, в связи с чем возникла необходимость в проведении исследований по зависимости величины ударной вязкости металла сварного шва от содержания фторбората кальция в обмазке электродов. Результаты исследований представлены на рис. 2.

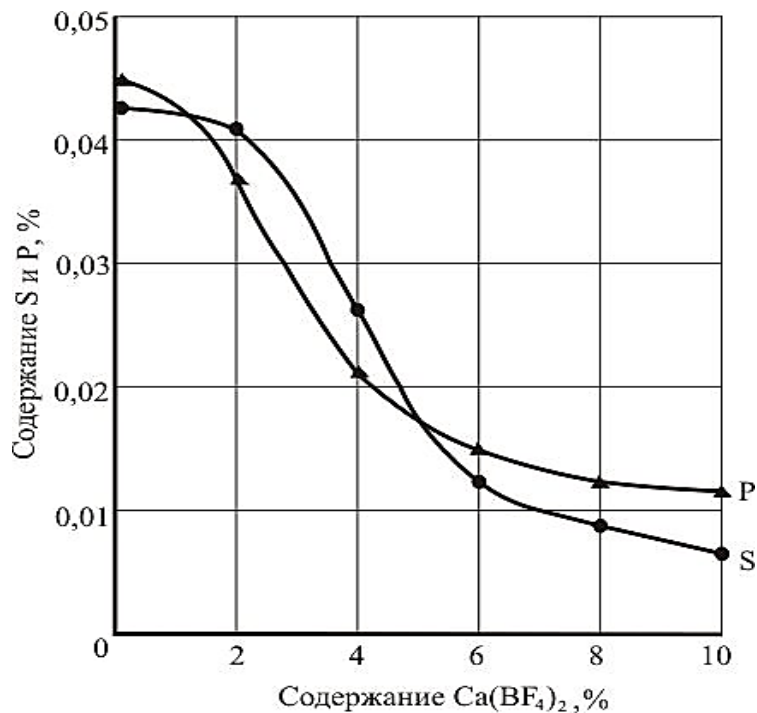


Рис. 1. Зависимость содержания фосфора и серы в металле сварного шва от содержания фторбората кальция в обмазке электрода:

● – содержание серы; Δ – содержание фосфора

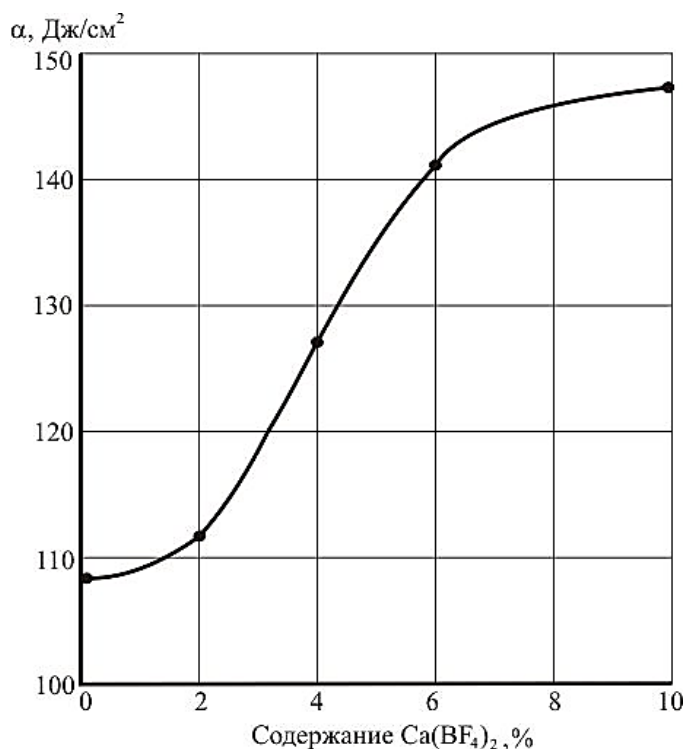


Рис. 2. Влияние содержания фторбората кальция в обмазке электродов на ударную вязкость металла сварного шва

Из рис. 2 видно, что при содержании фторбората кальция в обмазке электрода менее 2 % – его влияние на ударную вязкость незначительно, наиболее быстрый рост ударной вязкости металла шва наблюдается при содержании фторбората кальция от 2 до 6 %. Дальнейшее

увеличение содержания фторбората кальция не увеличивает ударную вязкость столь эффективно. В тоже время, увеличение ударной вязкости до уровня, соответствующего показателям электродов УОНИ 13/45, наступает при содержании фторбората кальция в 8–10 %.

Необходимо также отметить, что ударная вязкость металла сварного шва, выполненного электродами АНО-6 без добавления фторбората кальция, оказались ниже паспортных значений для этой марки электродов, что, очевидно, связано с низким качеством исходного сырья, в связи с чем можно предположить, что при надлежащем качестве сырья для обмазки и содержании 8–10 % фторбората кальция в шихте показатели ударной вязкости окажутся значительно выше.

Улучшение характеристики сварного соединения может быть достигнуто также за счет наложения на сварочную ванну механических колебаний низкой частоты, кроме того, колебания могут быть осуществлены за счет пульсаций сварочного тока, что вызывает изменение давления дуги на жидкий металл сварочной ванны. Как известно [9], давление дуги на жидкую металлическую ванну определяется соотношением:

$$P = 1,27 \times I \times 10^{-5}, \quad (6)$$

где  $P$  – давление дуги, Н;

$I$  – ток дуги, А.

Учитывая низкую частоту колебаний [10] и быстроту протекания переходных процессов в дуге [11], влиянием последних на изменения давления дуги можно пренебречь. Однако, необходимо учесть, что минимальный ток дуги не может быть ниже 50–60 А, так как (в противном случае) горение дуги оказывается нестабильным. Кроме того, необходимо учесть, что при импульсном режиме горения дуги и равенстве длительности импульсов и пауз, учитывая необходимость во внесении в сварочную ванну такого же количества тепла что и при непрерывном процессе, должно соблюдаться следующее соотношение:

$$0,5I_U + 0,5I_n = I_D, \quad (7)$$

где  $I_U$  – ток импульса, А;

$I_n$  – ток паузы, А;

$I_D$  – ток дуги в непрерывном режиме, А.

Принимая  $I_n = 50$  А (ток, при котором дуга остается стабильной во время пауз), можно вычислить ток импульса.

Так, при токе, соответствующем непрерывной дуге в 160 А, ток импульса составит:

$$I_U = \frac{160 - 125}{0,5} = 270 \text{ А}. \quad (8)$$

Соответственно, давление дуги на жидкую металлическую ванну составит, согласно соотношению (6)  $P_{\text{импульса}} = 0,926$  Н,  $P_{\text{паузы}} = 0,032$  Н.

Таким образом, разница в давлении дуги на сварочную ванну в процессе одного периода колебаний составляет 0,894 Н, что, учитывая небольшие размеры сварочной ванны при ручной дуговой сварке, является достаточно значительной величиной.

Следует отметить, что источник питания для процесса импульсно-дуговой сварки в настоящее время не является проблемным. Многие промышленные источники питания постоянного тока имеют импульсные режимы работы. Согласно рекомендациям [10] нами было принята частота 12 Гц.

При использовании электродов с содержанием 8 % фторбората кальция в составе шихты и сварке на указанном импульсном режиме удалось повысить ударную вязкость с 140–142 Дж/см<sup>2</sup> до 182–186 Дж/мм<sup>2</sup>.

Считаем необходимым продолжить исследования, направленные на оптимизацию параметров импульсного режима горения сварочной дуги и содержания фторбората кальция в обмазке электродов ильменитового типа.

Необходимо отметить, что содержание фторбората кальция в составе обмазки более 10 % приводит к ухудшению отделимости шлаковой корки и может стать причиной появления шлаковых включений в металле шва при многослойной сварке.

Введение в состав обмазки фторбората кальция не приводит к ухудшению качества формирования сварного шва. Таким образом, электроды с ильменитовым покрытием, содержащим до 10 % фторбората кальция, можно рекомендовать для сварки крановых металлоконструкций.

## ВЫВОДЫ

Исследования показали, что введение в состав шихты электродов с ильменитовым покрытием фторбората кальция снижает содержание серы и фосфора в металле шва, выполненного этими электродами.

Доказано, что наибольший эффект снижения содержания серы и фосфора в металле сварного шва достигается при содержании фторбората кальция более 6 % в обмазке электрода.

Исследования показали, что при содержании в обмазке электродов с ильменитовым типом покрытия фторбората кальция более 6 % увеличиваются показатели ударной вязкости металла сварного шва, а при его содержании более 10 % – ухудшается отделимость шлаковой корки, что может стать причиной появления шлаковых включений в металле сварного шва.

Доказана возможность применения электродов с ильменитовым типом покрытия, содержащим 6–10 % фторбората кальция, для сварки крановых металлоконструкций.

Исследования показали, что при сварке крановых металлоконструкций электродами с покрытием ильменитового типа, содержащим фторборат кальция, на постоянном токе обратной полярности рекомендуется импульсный режим горения дуги при частоте 12 Гц и токе паузы – 40–60 А, что приводит к резкому росту ударной вязкости металла сварного шва.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некрасов Б. В. Курс общей химии / Б. В. Некрасов. – М. : Госхимиздат, 1955. – 97 с.
2. Петров Г. Л. Сварочные материалы / Г. Л. Петров. – Л. : Машиностроение, 1972. – 280 с.
3. Теоретически основы сварки / под ред. В. В. Фролова. – М. : Высш. шк., 1970. – 592 с.
4. Ерохин А. А. Основы сварки плавления / А. А. Ерохин. – М. : Машиностроение, 1973. – 448 с.
5. Подгаецкий В. В. Сварочные шлаки / В. В. Подгаецкий, В. Г. Кузьменко. – К. : Наук. думка, 1988. – 254 с.
6. Физико-химические свойства окислов : справочник / под ред. Г. В. Самсонова. – М. : Машиностроение, 1978. – 472 с.
7. Есенберлин Р. Е. Пайка и термическая деталей в газовой среде и вакууме / Р. Е. Есенберлин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 192 с.
8. Сварочные материалы стран членов СЭВ : каталог / под ред. И. К. Походни. – К.-М., 1981. – 510 с.
9. Шиганова Н. В. Измерение давления дуги в среде аргона и под флюсом / Н. В. Шиганова, Э. Д. Раймонд // Сварочное производство. – 1957. – № 12. – С. 13–17.
10. Андреев В. В. Особенности дуговой сварки переменным током низкой частоты / В. Андреев, Г. Н. Москович, А. М. Жерносеков // Сварщик. – 2008. – № 6. – С. 19–21.
11. Вагнер Ф. А. Оборудование и способы сварки пульсирующей дугой / Ф. А. Вагнер. – М. : Энергия, 1980. – 120 с.

Статья поступила в редакцию 06.10.2011 г.