

НОВАЯ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩАЯ ДОБАВКА ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ

Н.А. Козырев, д.т.н., проф., Р.Е. Крюков, асп., Д.Е. Колмогоров, к.т.н., доц.
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, e-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru*

** Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, e-mail: dek-79@mail.ru*

Применяемые отечественные флюсы для сварки низколегированных сталей дают повышенное содержание общего кислорода за счет кремне- и марганцевосстановительных процессов, повышенное количество неметаллических включений в швах. В результате чего не всегда обеспечивается требуемый уровень механических свойств при сварке.

В настоящее время применяемые системы легирования при сварке за счет кремнемарганцевосстановительных процессов (1- низкоуглеродистая электродная проволока и высокомарганцовистый флюс с высоким содержанием кремнезема; 2 - низкоуглеродистая проволока и высококремнистый (кислый) флюс; 3 - среднемарганцовистая электродная проволока и среднемарганцовистый кислый флюс) имеют ряд недостатков.

1. Использование кремния и марганца в качестве раскислителей приводит к образованию различных оксидных включений, которые в связи со скоротечностью процесса сварки не всегда успевают всплыть и ассимилироваться шлаком, поэтому концентрация свободного и связанного кислорода в металле шва довольно высока, в связи с чем наблюдается понижение значений ударной вязкости металла шва, особенно при отрицательных температурах. Таким образом, оптимальным с точки зрения исключения образования в сварном шве неметаллических включений, является использование углерода, так как образующиеся с участием углерода соединения CO и CO_2 находятся в газообразном состоянии, в связи с чем легко удаляются и не загрязняют металл шва неметаллическими включениями. Однако, использование углерода в качестве раскислителя приводит к науглероживанию металла, что в свою очередь ухудшает механические свойства и структуру сварных швов.

2. Недостаточная концентрация во флюсах фторсодержащих компонентов, удаляющий водород из сварного шва с образованием соединения HF .

3. Отсутствие в большинстве марок флюсов элементов, облегчающих ионизацию и обеспечивающих устойчивое горение дуги - калия и натрия.

Исходя из данных предпосылок нами проведены работы по использованию углеродфторсодержащих добавок в качестве присадок во флюсы [1-6]. За основу углеродфторсодержащей добавки были взяты отходы металлургического производства в виде пыли с химическим составом масс. %: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 25-30$; $\text{Na}_3\text{AlF}_6 = 30-50$; $\text{CF}_x = 25-35$ ($1 \geq x > 0$). Теоретически данная добавка должна позволять: 1) проводить удаление водорода за счет фторсодержащих соединений (типа Na_3AlF_6 , CF_x ($1 \geq x > 0$) и т.д.), разлагающихся при температурах сварочных процессов с выделением фтора, который в свою очередь взаимодействует с водородом, растворенным в стали, с образованием газообразного соединения HF ; 2) осуществлять интенсивный углеродный «кип» за счет CO и CO_2 образующихся при взаимодействии фтористого углерода CF_x ($1 \geq x > 0$) с растворенным в стали кислородом, при этом в связи с тем, что углерод находится в связанном состоянии, науглероживание стали практически не должно происходить; 3) повышать устойчивость дуги за счет элементов, облегчающих ионизацию в столбе дуги - калия и натрия.

Добавку к флюсу готовили следующим образом: смешивали углеродфторсодержащий компонент с жидким стеклом, после чего осуществляли сушку, охлаждение и дробление.

Затем добавку перемешивали с флюсом в специальном смесителе в определенном, строго заданном соотношении. Для исследования были взяты флюсы марок АН-348А, АН-60 и АН-67 как базовые варианты и их смеси с добавлением керамического флюса-добавки.

Эксперименты проводились на образцах из стали 09Г2С толщиной 16 мм размером 200 × 500 мм. Сварка стыковых швов без разделки кромок проводилась с двух сторон, как при сварке полотнищ стенок резервуаров на стенде для рулонирования. В качестве присадочного металла использовалась проволока Св-08ГА диаметром 5 мм.

Сварку образцов под флюсами проводили на одинаковых режимах. Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены следующие исследования: рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования сварных швов, определение содержания общего кислорода в швах, механических свойств, твердости сварных соединений и ударной вязкости швов при температурах 20⁰С и –40⁰С.

Определение химического состава металла сварных швов на содержание углерода, серы и фосфора проводили химическими методами по ГОСТ 12344-2003, ГОСТ 12345-2001, ГОСТ 12347-77 соответственно. Содержание легирующих элементов в металле шва, оксидов кальция, кремния, магния, алюминия, марганца, железа, калия, натрия и фтористых соединений во флюсах с добавками и в полученных после сварки шлаках определяли на рентгенофлюорисцентном спектрометре XRF -1800 фирмы SHIMADZU.

Опыты показали, что при использовании углеродфторсодержащей добавки в количестве до 6 % обеспечивается концентрация углерода в шве, соответствующая концентрации углерода в исходном металле (рисунок 1).

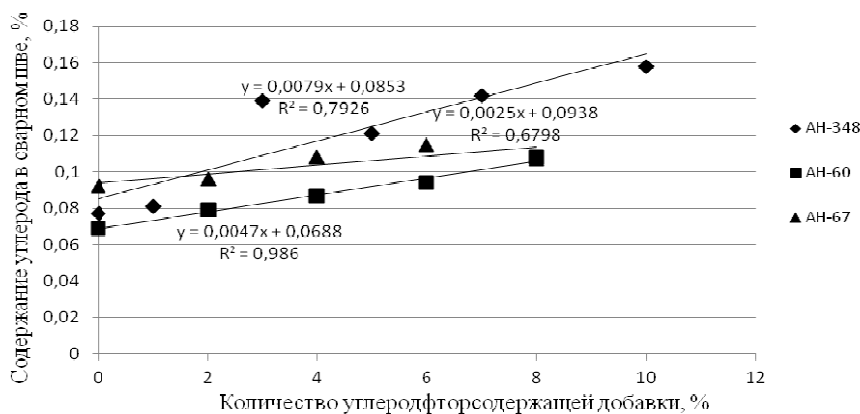


Рис. 1. Влияние углеродфторсодержащей добавки на содержание углерода в сварном шве

Определение кислорода методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 показало, что массовая доля данного газа с повышением содержания добавки во флюсе уменьшалась (рисунок 2), а проведенный фракционный газовый анализ показывал, что в зависимости от окисленности и основности шлаковой системы происходит перераспределение кислорода во включениях. Наибольшее количество алюминатов и алюмосиликатов неблагоприятно влияющих на физико-химические свойства сварного соединения, содержалось при сварке под флюсом АН-60, при введении добавки наблюдалось снижение количества этих соединений. Во флюсах АН-348 и АН-67 изменения были незначительны (рисунок 3). Углеродфторсодержащая добавка повлияла на снижение содержания водорода в сварном шве по вышеописанному механизму за счет фтора (рисунок 4), концентрация азота незначительно снизилась.

Металлографические исследования полированных микрошлифов сварных соединений проводились с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле при увеличениях $\times 100$, $\times 500$. Микроструктура металла выявлялась травлением в растворе 4 % HNO₃ в этиловом спирте. Структура основного металла всех проб состоит из зерен феррита и пластинчатого перлита (4-5 мкм). В переходной зоне от основного металла к наплавленному наблюдается мелкозернистая структура (1-2 мкм), образовавшаяся в результате рекристаллизации при нагреве в процессе сварки.

Секция 1: Инновационные технологии получения и контроля
неразъемных соединений в машиностроении

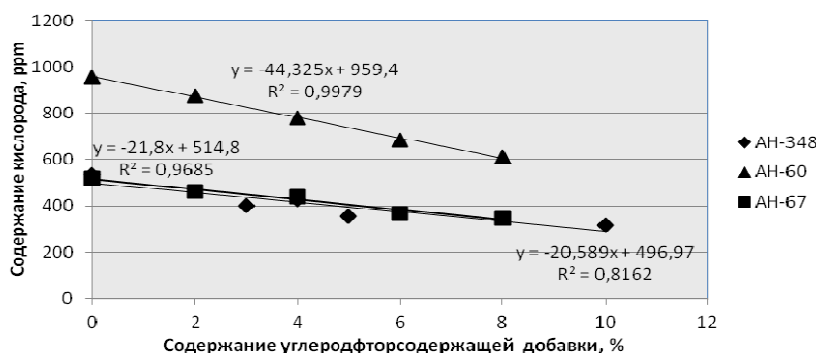


Рис. 2. Изменение общего кислорода во флюсах АН-348, АН-60 и АН-67 в зависимости от введения углеродфторсодержащей добавки

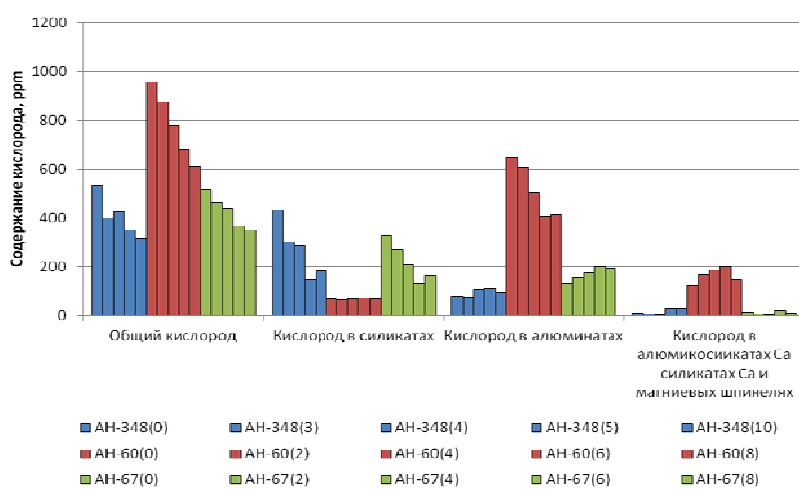


Рис. 3. Изменение концентрации общего и фракционного кислорода в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки (в скобках указано процентное содержание углеродфторсодержащей добавки)

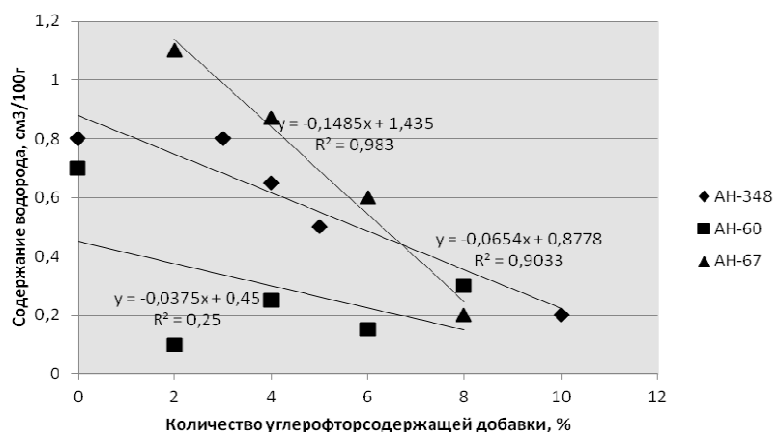


Рис. 4. Изменение водорода в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки

В микроструктуре сварного шва присутствуют ферритные зерна, вытянутые в направлении отвода тепла вследствие нагрева и ускоренного охлаждения. Заметного отличия структуры швов, выполненных под разными флюсами, не обнаружено. В образцах, сваренных под флюсами с углеродфторсодержащими добавками, наблюдалось снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями, связанное с уменьшением общего содержания кислорода.

Изучение механических свойств (предела текучести, прочности, относительного удлинения и ударной вязкости при отрицательных температурах) на образцах, вырезанных по ГОСТ 6996-66, показало, что уровень свойств значительно превышает требуемые значения ГОСТ 31385-2008 и нормативные значения ПБ 03-605-03 (правил устройства вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов). Особо следует отметить увеличение значений ударной вязкости при отрицательных температурах (рисунок 5).

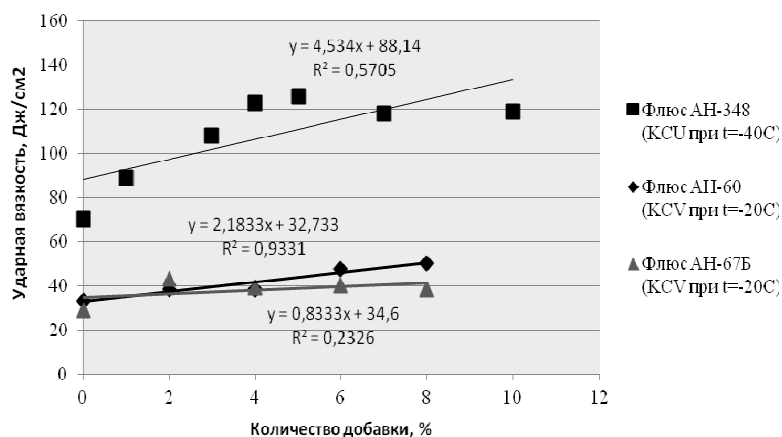


Рис. 5. Изменение ударной вязкости в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки во флюсах АН-348, АН-60, АН-67

Таким образом, при введении разработанной углеродфторсодержащей добавки во флюсы АН-348А, АН-60 и АН-67 снижается газонасыщенность сварного шва, уменьшается загрязненность оксидными неметаллическими включениями, увеличивается комплекс требуемых механических свойств и ударной вязкости (особенно при отрицательных температурах).

Производство углеродфторсодержащей добавки, защищенной патентом [7], освоено в условиях ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций».

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации госзаказа 7.5021.2011

Литература.

1. Влияние углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов на свойства сварных швов / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н., Крюков Р.Е., Голдун З.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 6. – С. 26 – 29.
2. Использование углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В., Крюков Р.Е., В.М. Шурупов // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2012. – № 10. – С. 35 – 38.
3. Влияние углерод- и фторсодержащих добавок в составе флюсов на содержание неметаллических включений и свойства сварных швов / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Голдун З. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. – 2012. – № 12. – С. 3-6.
4. Влияние флюса АН-60 с углеродфторсодержащей добавкой на качество сварных швов стали 09Г2С / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., С.Н. Старовацкая, А.В. Роор // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 4. – С. 30-33.
5. Разработка добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей / Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Роор А. В., Ковальский И. Н. // Сварочное производство. – 2013. – № 5. – С. 9 - 12.
6. Исследование влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 на свойства металла сварных швов стали 09Г2С / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Роор А.В. // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2013. – № 8. – С. 33-36.
7. Пат. 2484936 РФ, МПК 8В23 К35/362 Керамический флюс-добавка / Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Голдун З.В.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет. - №2012104939/02(007484), Заявл. 13.02.2012.