

участка отрезки именно на угле поворота валка $\alpha_{\text{отд}+90}$, предшествующем отделочному участку калибра, т.е. $C_{\text{отр}} = C_{\alpha \text{ отд}+90}$.

Основные расчетные данные предварительного этапа калибровки приведены ниже:

$\alpha, ^\circ$	$h_{\alpha-90}, \text{ мм}$	$r_{\alpha-90}, \text{ мм}$	$C_\alpha, \text{ мм}$
1260	5,20	57,40	24,98
1170	14,25	48,35	39,76
1080	23,30	39,30	48,73
990	32,35	30,25	54,81
900	41,40	21,20	58,90
810	50,45	12,15	61,41
720	59,50	3,10	62,52
630	59,50	3,10	—
540	59,50	3,10	—

Можно отметить, что высота реборды изменяется по линейному закону, ширина сферического участка увеличивается по ходу прокатки.

УДК 621.791:624

*Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков,
С.Н. Старовацкая, А.В. Роор*

Сибирский государственный индустриальный университет

ВЛИЯНИЕ ФЛЮСА АН-60 С УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩЕЙ ДОБАВКОЙ НА КАЧЕСТВО СВАРНЫХ ШВОВ СТАЛИ 09Г2С*

Аннотация. Показана возможность снижения содержаний кислорода и водорода в металле сварных швов при автоматической дуговой сварке под флюсом при введении в него углеродфторсодержащей добавки, при этом уменьшается загрязненность шва оксидными неметаллическими включениями, повышаются значения механических свойств и ударная вязкость металла сварных швов при отрицательных температурах. Установлено, что при введении углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-60 в количестве до 6 % содержание углерода в металле шва при сварке стали 09Г2С не превышает допустимых значений и не оказывает существенного влияния на твердость металла.

Ключевые слова: дуговая сварка, флюс, углеродфторсодержащая добавка, сварной шов.

THE INFLUENCE OF FLUX AN-60 WITH CARBON-FLUORINE ADDITIVE ON THE QUALITY OF WELD STEEL 09G2S

Abstract. The work shows the possibility of reducing the oxygen content in the welds by automatic arc welding flux with the introduction of carbon-fluorine containing supplements, thus reducing the content of nonmetallic inclusions, and increased mechanical properties and impact strength (especially at low temperatures) of welds. It was determined that the introduction of the carbon-fluorine content into the flux AN-60 in amounts of less than 6 % when welding low-alloy steel does not exceed the allowable values, and no significant effect on the hardness of the metal.

Keywords: arc welding, flux, carbon-fluorine content, weld seam.

Снизить содержание неметаллических включений в металле сварных швов при автоматической сварке под флюсом можно применением слабоокислительных

Выводы. Разработана методика калибровки валков шаропрокатного стана на примере прокатки шара диам. 125 мм. Проведен расчет размеров заготовки, приведены исходные размеры реборды валка и перемычки. Все эти данные служат для дальнейшего расчета калибровки. Окончательный расчет калибровки валков будет изложен в следующей работе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прокатное производство. Справочник. Т. 2. / Под ред. Е.С. Рокотяна. — М.: Металлургиздат, 1962. — 315 с.
2. Специальные прокатные станы / А.И. Целиков, М.В. Барбарин, М.В. Васильчиков и др. — М.: Металлургия, 1971. — 336 с.
3. Поперечная прокатка в машиностроении / В.С. Смирнов, В.П. Анисифоров, М.В. Васильчиков и др. — М.: Машгиз, 1957. — 376 с.
4. Шор Э.Р. Новые процессы прокатки. — М.: Металлургиздат, 1960. — 386 с.
5. Грановский С.П. Новые процессы и станы для прокатки изделий в винтовых калибрах. — М.: Металлургия, 1980. — 116 с.

© 2013 г. В.Н. Перетятыко, А.С. Климов,

М.В. Филиппова

Поступила 3 декабря 2012 г.

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

флюсов, однако такие флюсы имеют неудовлетворительные сварочно-технологические свойства и редко применяются при сварке низколегированных сталей. При использовании окислительных флюсов металл шва насыщается кислородом за счет кремне- и марганцевостановительных процессов. В связи с этим повышается

содержание общего кислорода в металле сварного шва, увеличивается содержание оксидных неметаллических включений, резко падает один из основных параметров качества – ударная вязкость при отрицательных температурах [1]. Получить сварной шов с пониженным содержанием неметаллических включений можно введением добавок в окислительные флюсы.

Авторами работ [2, 3] на ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» была разработана технология сварки под флюсом стенок резервуаров в северном исполнении, которая включает в себя сварку двусторонним швом листов из низколегированной стали на стенде разными сварочными материалами. Технология защищена патентом РФ, внедрена в производство и позволяет получать высокие механические свойства и ударную вязкость сварных соединений при отрицательных температурах. В ходе исследований [4] также была разработана и опробована керамическая флюс-добавка, позволяющая улучшить газовую защиту и уменьшить содержание неметаллических включений в металле сварного шва. Однако уровень механических свойств и ударной вязкости при отрицательных температурах хоть и удовлетворял требованиям ГОСТ 31385 – 2008, но был трудно реализуем в связи с некоторой отбраковкой по ударной вязкости.

Для увеличения ударной вязкости предложена [5] углеродфторсодержащая добавка во флюс для сварки низколегированных сталей, которая была опробована в смеси с флюсом марки АН-348А для сварки резервуаров. Показано положительное влияние добавки на снижение концентрации кислорода и неметаллических включений в металле шва и повышения механических свойств и ударной вязкости.

Целью настоящей работы является рассмотрение возможности использования углеродфторсодержащей добавки в смеси с окислительным плавным пемзовидным флюсом АН-60.

Для получения добавки использовали углеродфторсодержащие отходы металлургического производства и жидкое стекло, которые перемешивали и сушили в печи при температуре 300 °С. Добавку охлаждали и дробили до фракции 0,2 – 2,0 мм, затем смешивали с флюсом марки АН-60 в смесителе. Содержание добавки во флюсе изменяли в пределах 2 – 8 %. Сварку двусторонних стыковых швов без разделки кромок образцов размером 200×500×16 мм из стали 09Г2С проводили сварочным трактором АСАВ-1250 с использованием сварочной проволоки марки Св-08ГА при следующем режиме: сварочный ток $I_{св} = 700$ А, напряжение на дуге $U_d = 35$ В, скорость сварки $v_{св} = 24,5$ м/ч, диаметр проволоки $d = 4$ мм. Для сравнения проводили сварку под флюсом АН-60 без добавок при том же режиме.

Отбор образцов для металлографического анализа, а также для определения механических свойств и ударной вязкости проводили согласно требованиям ГОСТ 6996 – 66.

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

Установлено, что углеродфторсодержащая добавка к флюсу приводит к некоторому повышению содержания углерода в металле шва. На рис. 1 показана зависимость содержания углерода в металле шва от количества углеродфторсодержащей добавки во флюсе. Анализ изменения содержания углерода показал, что применение флюса с добавками приводит к незначительному (с 0,079 до 0,094 %) повышению содержания углерода в металле сварного шва при внесении добавки в количестве 2 – 6 %, что обеспечивает концентрацию углерода в металле шва, соответствующую концентрации углерода в металле в исходном состоянии (0,087 %). При дальнейшем (до 8 %) увеличении количества добавки во флюс содержание углерода повышается до 0,108 %. При сварке под флюсом АН-60 без добавки содержание углерода в металле сварного шва меньше, чем в основном металле, и составляет 0,069 %. Таким образом, с точки зрения изменения содержания углерода в металле сварного шва оптимальным является присадка добавки в количестве 2 – 6 %.

Косвенной характеристикой влияния содержания углерода на качество сварного соединения является твердость металла шва и границы сплавления. Из вырезанных образцов готовили макрошлифы, измеряли твердость в основном металле, на границе сплавления и в металле шва. Введение углеродфторсодержащей добавки во флюс не приводит к существенному увеличению твердости. Твердость основного металла изменялась в пределах 108 – 117 НВ, на границе сплавления в пределах 131 – 153 НВ и твердость металла шва в пределах 139 – 172 НВ в зависимости от количества углеродфтор-

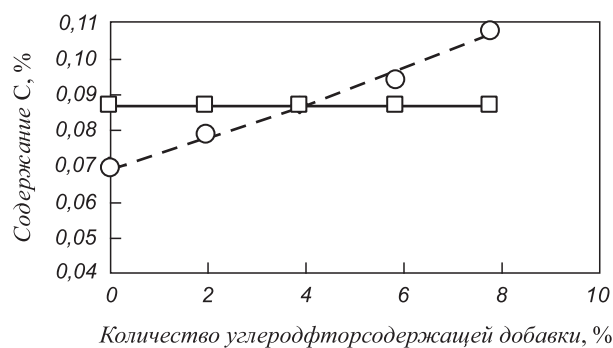


Рис. 1. Концентрация углерода в основном металле (—) и в металле сварного шва (---) в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс

содержащей добавки. При этом во всех случаях твердость металла шва соответствует требованиям ГОСТ и ниже максимально допустимого значения 280 НВ.

Содержание серы и фосфора в металле шва при сварке под флюсом с добавками и без добавок не изменилось и находилось в пределах 0,015 – 0,019 и 0,013 – 0,015 % соответственно, т.е. применение флюсов с добавками не повлияло на переход серы и фосфора из шлака в металл.

Введение углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-60 привело к небольшому увеличению содержания кремния, марганца и алюминия в металле шва по сравнению с базовым вариантом (содержание кремния увеличилось с 0,53 до 0,65 %, марганца с 1,33 до 1,69 % и алюминия с 0,014 до 0,025 %). По-видимому, это связано с перераспределением кислорода в системе металл – шлак за счет прямого восстановления содержащимся во флюсе углеродом оксидов шлака.

Результаты рентгеноспектрального анализа исследуемого флюса с углеродфторсодержащими добавками и полученных после сварки шлаков подтверждают протекание окислительно-восстановительных процессов и перераспределение кислорода в системе металл – шлак (рис. 2). Углеродфторсодержащая добавка во флюс способствовала дополнительно переходу оксидов из металла в шлак.

Проведенное определение концентрации кислорода по ГОСТ 17745 – 90 методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 подтвердило снижение содержания кислорода при использовании добавок. Так, массовая доля кислорода в образцах, полученных при сварке под флюсом с добавкой в количестве 2, 4, 6 и 8 %, уменьшилась по сравнению с контрольной пробой (сварка под флюсом АН-60 без добавок) в среднем с 906 до 884, 757, 664 и 611 ppm соответственно. Причем фракционный газовый анализ показал, что массовая доля кислорода в силикатах изменилась с 765 до 641, 511, 444 и 370 ppm соответственно; в алюминатах с 218 до 138, 159, 184 и 183 ppm соответственно; в алюмосиликатах кальция, силикатах кальция и магниевых шпинелях с 10,1 до 10,5, 15,4, 9,7 и 18,4 ppm соответственно. Массовая доля азота изменялась при сварке под флюсом АН-60 без добавок в пределах 69 – 70 ppm, а при сварке с использованием добавки – в пределах 68 – 71 ppm. Снизилось содержание водорода с 0,70 см³/100 г металла (сварка под флюсом АН-60 без добавок) до 0,30, 0,25, 0,15 и 0,10 см³/100 г металла (сварка под флюсом АН-60 с добавкой в количестве 2, 4, 6 и 8 % соответственно).

Металлографические исследования проводили на полированных микрошлифах с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при увеличении 200 крат. В структуре всех проб наблюдаются точечные включения оксидов и силикатов, оценивающиеся баллом 1 – 2 по шкале ГОСТ 1778 – 70.

Микроструктуру металла выявляли травлением 4 %-ым раствором HNO₃ в этиловом спирте. В микро-

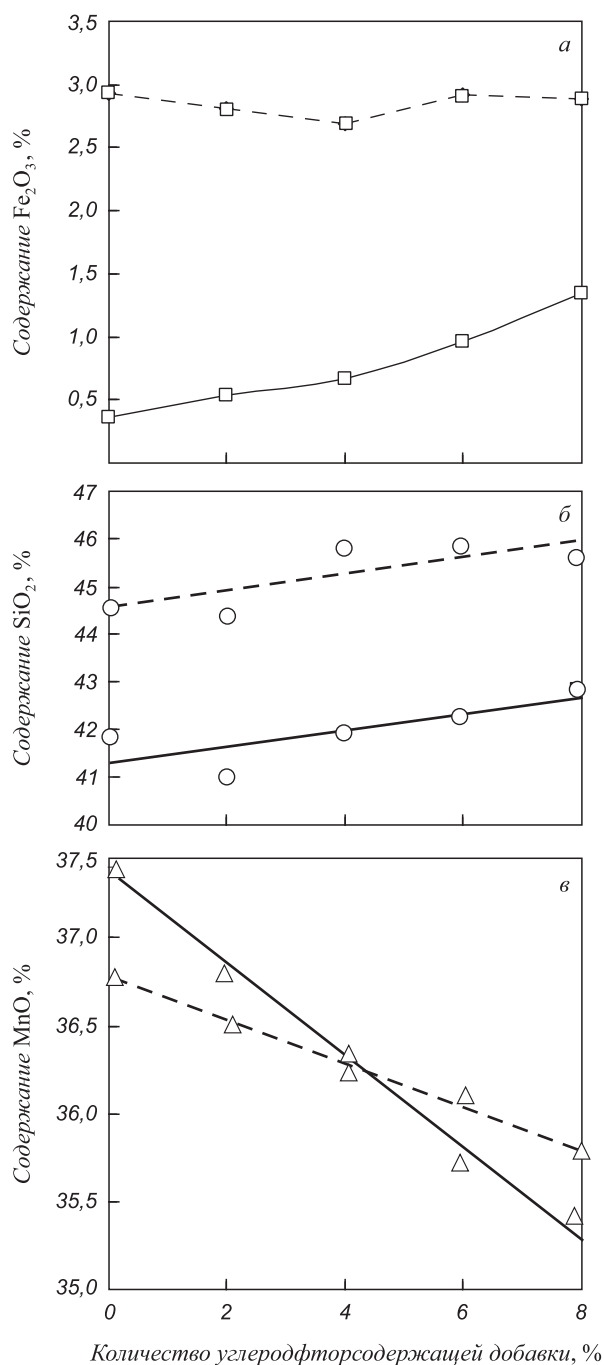


Рис. 2. Изменение концентрации Fe₂O₃ (а), SiO₂ (б), MnO (в) во флюсе (—) и в шлаке (---) при различном количестве углеродфторсодержащей добавки

структуре всех проб наблюдается одинаковое зонное строение: область сварного шва, переходная зона, основной металл (рис. 3, а). В структуре основного металла присутствуют равновесные зерна феррита и перлит на границах ферритных зерен. Структура металла удовлетворительная, зерно оценивается баллом 7 – 8 по ГОСТ 5639 – 82. В микроструктуре сварного шва присутствуют ферритные зерна, вытянутые в направлении отвода тепла. Заметен переход от феррито-перлитной структуры к игольчатой видманштеттовой, при этом заметно увеличивается размер ферритных зерен

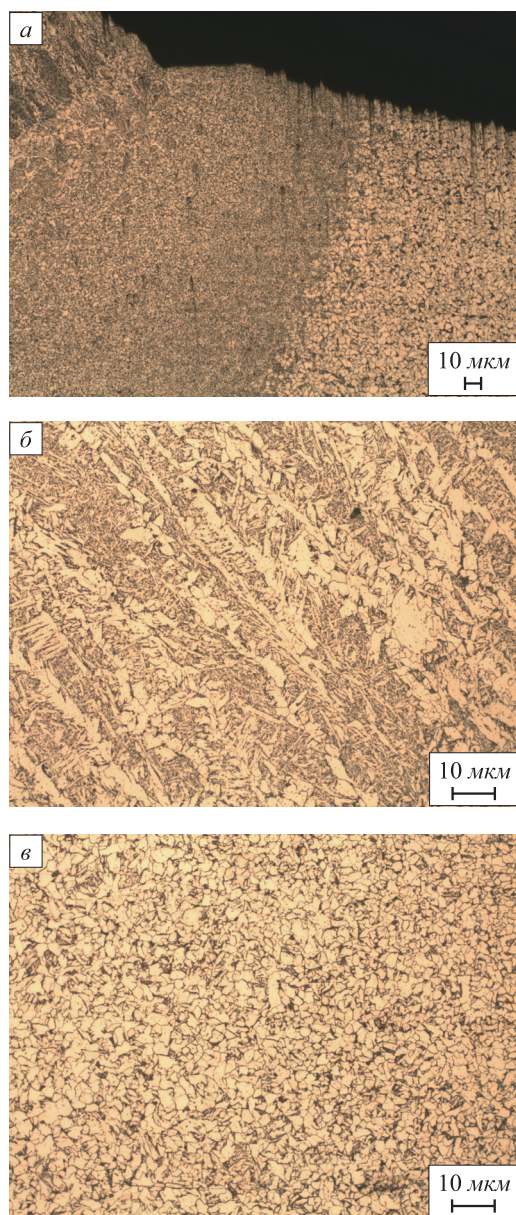


Рис. 3. Микроструктура металла вблизи поверхности зоны шва (а), в зоне шва (б), в переходной мелкокристаллической зоне (в)

(рис. 3, б). В переходной зоне от основного металла к сварному шву наблюдается мелкозернистая структура (балл 10 – 11), образовавшаяся в результате рекристаллизации при нагреве в процессе сварки (рис. 3, в).

Значения предела текучести (σ_T), предела прочности (σ_B), относительного удлинения (ψ) и ударной вязкости (КСУ) при температуре -20°C показывают (см. таблицу), что уровень свойств значительно превышает требуемые согласно ГОСТ 31385 – 2008. Вероятнее всего, улучшение механических свойств и ударной вязкости при отрицательных температурах сварных соединений связано со снижением содержания кислорода и водорода в металле сварного шва, а также с изменением морфологии оксидных включений.

Выводы. Подтверждена принципиальная возможность введения в сварочные флюсы добавок углерод-

Механические свойства металла сварных соединений при сварке под флюсом АН-60 с углеродфторсодержащей добавкой

Количество добавки, %	σ_B , МПа	σ_T , МПа	ψ , %	КСУ, Дж/см ² , при $T = -20^\circ\text{C}$
–	516 512 – 520	390 382 – 400	21 20 – 22	30 28 – 32
2	540 534 – 547	420 413 – 425	23 21 – 24	42 39 – 45
4	548 540 – 556	416 408 – 423	22 21 – 23	43 41 – 44
6	556 550 – 562	412 406 – 417	23 22 – 24	50 48 – 53
8	585 580 – 589	422 418 – 430	22 21 – 23	56 54 – 59
Требования ГОСТ 31385 – 2008 и ПБ-03-605-03				
	≥ 490	≥ 350	≥ 21	≥ 35

П р и м е ч а н и е. В числителе приведены средние значения показателей, полученные по результатам испытаний шести образцов, в знаменателе – минимальное и максимальное значения.

фторсодержащих компонентов. При использовании исследуемой добавки во флюс АН-60 в количестве до 6 % концентрация углерода в металле сварных швов остается на уровне концентрации углерода в основном металле, твердость не возрастает; применение углеродфторсодержащих добавок может быть целесообразно для раскисления металла шва по сравнению с существующими кремне- и марганцевосстановительными процессами. Использование углеродфторсодержащих добавок позволяет уменьшить общее содержание кислорода в металле шва, и следовательно, снизить уровень загрязненности металла неметаллическими включениями и, как следствие, увеличить показатели требуемых механических свойств и ударную вязкость сварных соединений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. – Киев: Техника, 1984. – 166 с.
2. Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А. и др. // Сварочное производство. 2012. № 5. С. 35 – 38.
3. Пат. 2465108 РФ. Способ сварки под флюсом / Н.Е. Крюков, И.Н. Ковальский, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. Заявл. 08.06.2011. Оpubл. 27.10.2012.
4. Пат. 2467853 РФ. Керамический флюс-добавка / Н.Е. Крюков, И.Н. Ковальский, Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова. Заявл. 08.06.2011. Оpubл. 27.11.2012.
5. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В. и др. // Изв. вуз. Чер. металлургия. 2012. № 10. С. 35 – 38.

© 2013 г. Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев,
Р.Е. Крюков, С.Н. Старовацкая, А.В. Поор
Поступила 21 января 2013 г.