

УДК 621.791:624

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

Сибирский государственный индустриальный университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВВЕДЕНИЯ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЮЩЕЙ ДОБАВКИ ВО ФЛЮС АН-67 НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛА СВАРНЫХ ШВОВ СТАЛИ 09Г2С*

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования влияния углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 при сварке стали 09Г2С. Показано, что при использовании добавки уменьшается общее содержание кислорода в металле шва, снижаются загрязненность оксидными неметаллическими включениями и уровень газонасыщенности металла шва, увеличиваются значения требуемых механических свойств и ударная вязкость металла сварных соединений, при этом концентрация углерода в металле сварных швов остается на том же уровне, что и у основного металла.

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

INFLUENCE OF INTRODUCTION OF CARBON-FLUORINE CONTAINING ADDITIVES IN AN-67 FLUX ON PROPERTIES OF METAL WELDS IN 09G2S STEEL

Abstract. Experimental study of the effect of introduction of carbon-fluorine containing additives in AN-67 flux welding of 09G2S steel. It is shown that the use of supplements reduces the total oxygen content in the weld, reduces pollution by oxide non-metallic inclusions and the level of gas saturation of the weld metal, increases required mechanical properties and toughness of the weld. The concentration of carbon in the weld remains at the base metal.

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

В работах [1 – 3] были проведены исследования влияния введения углеродфторсодержащей добавки в плавящиеся окислительные флюсы на свойства металла сварных швов. Показано, что образующиеся с участием углерода соединения CO и CO₂ находятся в газообразном состоянии и не загрязняют металл шва неметаллическими включениями. Однако использование углерода в качестве раскислителя может привести к науглероживанию металла, что, в свою очередь, ухудшает механические свойства и структуру металла сварных швов. Эти процессы неразрывно связаны с окисленностью и основностью шлаковых систем, образующихся при плавлении применяемых при сварке флюсов.

В настоящей работе проведены исследования по влиянию углеродфторсодержащей добавки в слабоокислительный флюс АН-67. Использовали добавку, содержащую металлургические отходы следующего состава: 21 – 46 % Al₂O₃; 18 – 27 % F⁺; 8 – 15 % Na₂O; 0,4 – 6,0 % K₂O; 0,7 – 2,3 % CaO; 0,5 – 2,5 % SiO₂; 2,1 – 3,3 % Fe₂O₃; 12,5 – 30,2 % C_{общ}; 0,07 – 0,90 % MnO; 0,06 – 0,90 % MgO; 0,09 – 0,19 % S; 0,10 – 0,18 % P; 10 – 12 % жидкого стекла (по массе). Углеродфторсодержащую добавку вводили во флюс в количестве 2 – 8 %. За базовый вариант был принят образец, сварку

которого производили под флюсом АН-67 без добавки.

Сварку двусторонних стыковых швов без разделки кромок на образцах размером 200×500 мм из стали 09Г2С (ГОСТ 19282 – 73), толщиной 16 мм, проводили сварочным трактором ASAW-1250 с использованием сварочной проволоки марки Св-08ГА (ГОСТ 2246 – 70) при следующем режиме: сварочный ток 650 А, напряжение на дуге 36 В, скорость сварки 20,5 м/ч, диаметр проволоки 4 мм.

Определение содержания углерода, серы и фосфора в металле сварных швов проводили химическими методами по ГОСТ 12344 – 2003, ГОСТ 12345 – 2001, ГОСТ 12347 – 77 соответственно. Определение содержания марганца, кремния, хрома, никеля, меди в металле и оксидов кальция, кремния, магния, алюминия, марганца, железа, калия, натрия, фтора во флюсах с добавками и в полученных шлаках проводили на рентгенофлуоресцентном спектрометре XRF-1800 (фирмы SHIMADZU). Химический состав металла сварных швов, а так же флюсов и шлаков приведен соответственно в таблицах 1 – 3.

Определение содержания кислорода в металле шва по ГОСТ 17745 – 90 методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» ТС-600 показало, что массовая доля кислорода с повышением содержания добавки во флюсе понижалась в пределах от 520 (базовый вариант) до 348 ppm (при введении добавки в количестве 8 %), что со-

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

Т а б л и ц а 1

Химический состав металла сварных швов, выполненных под флюсом АН-67 с углеродфторсодержащей добавкой

Количество добавки, %	Содержание, %, элементов					
	C	S	P	Si	Mn	Al
0	0,092	0,011	0,011	0,55	1,01	0,034
2	0,096	0,012	0,011	0,50	0,88	0,029
4	0,108	0,013	0,014	0,56	0,94	0,031
6	0,115	0,014	0,012	0,50	0,90	0,028
8	0,107	0,015	0,013	0,52	0,98	0,026

Т а б л и ц а 2

Химический состав флюсов с углеродфторсодержащей добавкой

Количество добавки, %	Содержание, %, элемента										
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F ⁺	S	P
0	0,56	15,28	17,75	14,81	36,09	1,58	1,11	0,46	8,47	0,04	0,01
2	0,76	14,95	17,22	14,74	34,69	1,51	1,48	0,44	8,72	0,09	0,02
4	0,71	14,50	16,30	14,68	32,70	1,38	2,10	0,45	9,28	0,18	0,02
6	0,81	14,44	16,20	15,44	32,63	1,36	2,52	0,43	9,44	0,23	0,02
8	0,94	14,33	16,03	15,81	32,93	1,35	2,87	0,44	9,76	0,26	0,02

Т а б л и ц а 3

Химический состав шлаков

Количество добавки, %	Содержание, %, элемента										
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F	S	P
0	2,19	13,52	16,89	14,33	30,58	1,28	0,50	0,41	7,77	0,03	0,01
2	2,43	13,43	16,93	15,95	32,46	1,32	1,31	0,42	9,28	0,05	0,01
4	2,51	13,03	16,72	15,37	32,33	1,30	1,30	0,41	9,24	0,07	0,01
6	2,51	13,11	16,33	15,40	31,64	1,27	1,27	0,39	9,06	0,09	0,01
8	2,72	12,72	16,41	16,04	33,61	1,33	1,33	0,40	10,36	0,11	0,01

ставляет 33 % (рис. 1). Эксперименты показали, что массовая доля кислорода в силикатах снизилась с 328 до 132 ppm, при этом изменения доли кислорода в алюминатах, алюмосиликатах кальция, силикатах кальция и магниевых шпинелях были незначительными. Вероятно, уменьшение количества кислорода в металле шва вызвано снижением его количества именно в силикатах.

Значительных изменений содержания азота не наблюдалось, оно осталось на уровне базового варианта в количестве 70 ppm, а содержание водорода несколько снизилось (с 1,1 до 0,8 – 0,9 см³/100 г).

Металлографические исследования, проведенные на полированных микрошлифах с помощью оптичес-

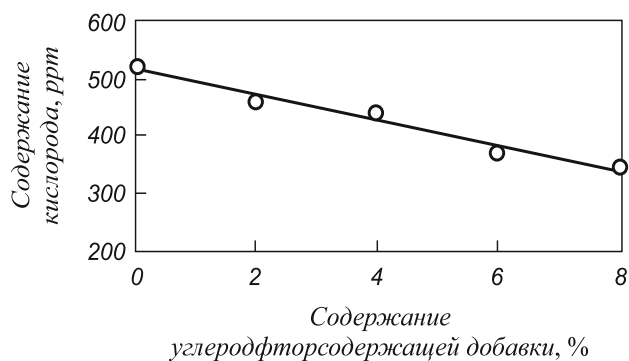


Рис. 1. Изменение общего содержания кислорода в металле шва в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67

кого микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при увеличении 100 и 200 крат, показали, что введение углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 в количестве до 8 % не приводит к структурным изменениям. В микроструктуре всех проб наблюдается схожее зонное строение – область сварного шва, переходная зона, основной металл. Структура металла удовлетворительная, зерно оценивается баллом 7 – 8 по ГОСТ 5639 – 82. В микроструктуре сварного шва присутствуют ферритные зерна, вытянутые в направлении отвода тепла. В структуре всех проб наблюдаются точечные включения оксидов и силикатов, оценивающиеся баллом 1 – 2 по шкале ГОСТ 1778 – 70.

Испытания по разрушению образцов проведены по ГОСТ 6996 – 66 (табл. 4). Результаты испытаний показали, что применение углеродфторсодержащей добавки повышает ударную вязкость при отрицательных температурах (рис. 2), что, по-видимому, связано с изменением морфологии оксидных включений и со снижением содержания кислорода в металле сварного шва.

Т а б л и ц а 4

Характеристики металла сварного шва

Количество добавки, %	σ_b , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	Δ , %	KCV (–20 °С), Дж/см ²
0	536,0	382,0	31,5	28,7
2	562,0	386,5	28,5	43,0
4	574,0	395,0	30,0	39,3
6	579,0	406,5	28,5	40,3
8	594,5	410,0	27,0	38,3

П р и м е ч а н и е. Приведены средние значения механических характеристик; при испытании на растяжение было два образца, при испытании на ударную вязкость три образца.

σ_b , σ_T , Δ , KCV – предел прочности, предел текучести, относительное удлинение, удельная вязкость.

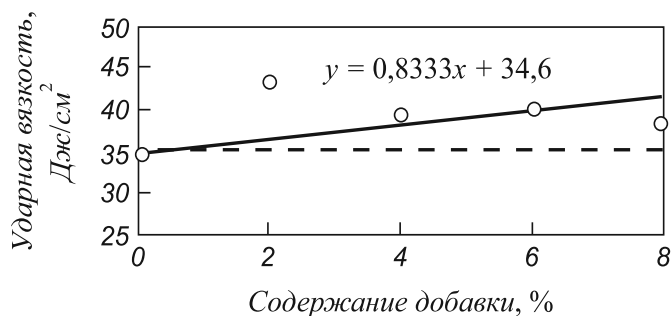


Рис. 2. Изменение ударной вязкости металла шва при –20 °С (—) в зависимости от количества углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 и требуемая по ПБ-03-605-03, ГОСТ 31385 – 2008 ударная вязкость (---)

Определено, что при использовании исследуемой добавки во флюс АН-67 в количестве до 6 % концентрация углерода в металле сварных швов не превышает концентрации углерода в основном металле (рис. 3). Дальнейшее увеличение количества добавки во флюс приводит к повышению содержания углерода в металле сварного шва по сравнению с основным металлом. Таким образом, с точки зрения изменения содержания углерода в металле сварного шва оптимальным является присадка добавки в количестве 4 – 6 %.

Изменение количества углерода в металле сварного шва напрямую влияет на изменение такого свойства сварного соединения, как твердость. Измерения твердости осуществляли согласно схемы (рис. 4) в основном металле, на границе сплавления и в металле сварного шва. Введение углеродфторсодержащей добавки во флюс не привело к повышению значений твердости (табл. 5).

Выводы. При использовании исследуемой углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 в количестве 4 – 6 % уменьшается общее содержание кислорода в металле шва, снижаются загрязненность оксидными неметаллическими включениями и газонасыщенность металла шва, повышаются значения требуемых механических характеристик и ударная вязкость металла сварных соединений. При этом концентрация углерода в металле сварных швов остается на уровне концентрации углерода в основном металле.

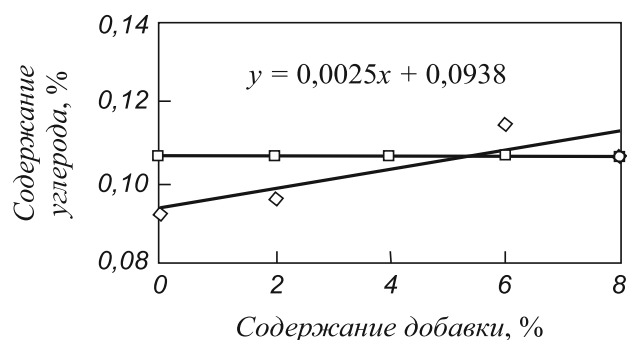


Рис. 3. Влияние количества углеродфторсодержащей добавки во флюс АН-67 на содержание углерода в основном металле (□) и в металле сварного шва (○)

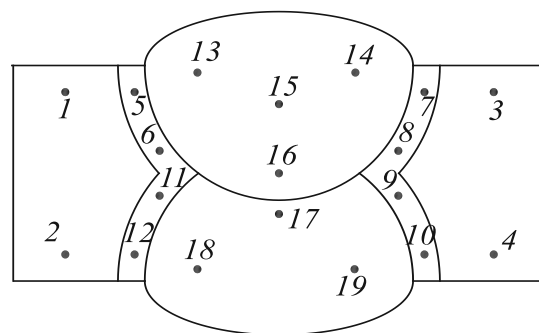


Рис. 4. Схема расположения точек измерения твердости

Т а б л и ц а 5

Твердость

Количество добавки, %	Твердость НВ в точках																		
	основного металла				зоны термического влияния								сварного шва						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	209	214	211	216	182	172	183	172	173	175	170	175	181	181	177	175	173	180	181
	212,5*				175,3*								178,3*						
2	216	222	207	220	179	178	181	176	173	179	176	174	185	181	180	178	183	183	190
	216,3*				177,0*								182,9*						
4	222	208	211	208	185	183	181	177	176	182	177	181	185	186	185	177	166	180	183
	212,3*				180,3*								180,3*						
6	213	213	214	198	188	162	178	180	183	182	170	180	198	205	199	184	176	198	198
	209,5*				177,9*								194,0*						
8	220	205	226	220	183	175	183	179	178	180	179	180	193	195	192	184	210	214	213
	217,8*				179,6*								200,1*						

П р и м е ч а н и е. Звездочкой обозначено среднее значение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Голдун З.В. и др. // Изв. вуз. Чер. металлургия. 2012. № 10. С. 35 – 38.
2. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Старовацкая С.Н. и др. // Изв. вуз. Чер. металлургия. 2012. № 6. С. 26 – 29.

3. Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е. и др. // Сварочное производство. 2012. № 12. С. 3 – 6.

© 2013 г. *Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, А.В. Роор*
Поступила 22 апреля 2013 г.