ISSN: 0368–0797. Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2015. Том 58. № 4. С. 258 – 261.
© 2015. *Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Роор А.В., Бащенко Л.П., Липатова У.И.*

УДК 621.791:624

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА НОВЫХ УГЛЕРОДФТОРСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК ДЛЯ СВАРОЧНЫХ ФЛЮСОВ*

Козырев Н.А., *д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства* (kozyrev_na@mts.sibsiu.ru)
Крюков Р.Е., *аспирант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства*
Роор А.В., *магистрант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства*
Бащенко Л.П., *к.т.н., ведущий редактор журнала «Известия вузов. Черная металлургия»*
Липатова У.И., *студент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства*

Сибирский государственный индустриальный университет
(654007, Россия, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42)

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования влияния введения углеродфторсодержащей добавки, содержащей 14,01 – 22,72 % Al; 13 – 22,04 % F; 13,16 – 21,34 % C; 8,27 – 13,4 % Na; 0,09 – 0,14 % K; 0,66 – 1,09 % Ca; 26,11 – 42,35 % SiO_2; 1,15 – 1,86 % FeO; 0,07 – 0,12 % MnO; 0,001 – 0,1 % MgO; 1,47 – 2,38 % S; 0,03 – 0,05 % P, в окислительные флюсы АН-348, АН-60, АН-67 при сварке стали 09Г2С и в алюминатно-основной флюс OK Flux 10.71 при сварке стали 10ХСНД. В ходе проведения экспериментов показано, что с точки зрения исключения образования в металле сварного шва неметаллических включений оптимальным является использование углерода в качестве раскислителя, так как образующиеся с его участием газообразные соединения CO и CO_2 легко удаляются и не загрязняют металл шва неметаллическими включениями. Показано, что углеродфторсодержащая добавка в составе флюсов положительно влияет на качество сварного шва. Установлено, что при введении исследуемой добавки в количестве 4 – 6 % в вышеназванные флюсы снижается общее содержание кислорода в металле шва. При использовании предлагаемой добавки увеличиваются комплекс требуемых механических свойств и ударная вязкость при отрицательных температурах за счет уменьшения загрязненности металла сварного шва оксидными неметаллическими включениями, при этом концентрация углерода в сварных швах остается на уровне концентрации основного металла.

Ключевые слова: сварочный флюс, углеродфторсодержащая добавка, металл сварного шва.

При использовании некоторых марок флюсов не всегда обеспечивается требуемый уровень механических свойств, в частности, ударной вязкости при пониженных температурах в связи с образованием в металле сварного шва большого количества неметаллических включений. Содержание последних в свою очередь зависит от количества общего кислорода во флюсах. Существующие в настоящее время флюсы для сварки низколегированных сталей дают повышенное содержание общего кислорода и, следовательно, повышенное количество неметаллических включений в металле шва. В настоящее время снижение содержания неметаллических включений в металле сварных швов при автоматической сварке под флюсом достигается применением слабоокислительных флюсов. Однако такие флюсы имеют неудовлетворительные сварочно-технологические свойства и редко применяются при сварке низколегированных сталей. В случае использования окислительных флюсов металл шва насыщается кислородом за счет кремне- и марганецвосстановительных процессов [1 – 8].

В связи с этим проведены работы по использованию углеродфторсодержащих добавок в качестве присадок во флюсы [9, 10]. За основу таких добавок были взяты отходы металлургического производства в виде пыли следующего химического состава: 25 – 30 % Al_2O_3; 30 – 50 % Na_3AlF_6; 25 – 35 % CF_x ($1 \geq x > 0$).

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 плавленые флюсы марок АН-348, АН-60, АН-67 для сварки стали 09Г2С и алюминатно-основной флюс Flux OK 10.71 для сварки стали 10ХСНД. Рассматривались как базовые варианты этих флюсов, так и их смеси с добавлением керамического флюса-добавки (ФД-УФС) в различном процентном соотношении.

Эксперименты проводились на образцах толщиной 16 мм размером 200×500 мм. Сварку стыковых швов без разделки кромок проводили с двух сторон, как при сварке полотнищ стенок резервуаров на стенде для рулонирования. В качестве присадочного металла использовали проволоку Св-08ГА диам. 5 мм.

Сварку образцов под флюсами проводили при одинаковых режимах: сварочном токе $I_{св} = 650$ А, напряжении на дуге $U_д = 34$ В, скорости сварки $V_{св} = 25$ м/ч

* Работа выполнена в СибГИУ в рамках проектной части Государственного задания Минобрнауки РФ № 11.1531.2014/К.

с одной стороны и $I_{св}$ = 680 А, $U_д$ = 34 В, $V_{св}$ = 25 м/ч – с другой. Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены исследования: рентгеноспектральный анализ состава металла швов; металлографические исследования сварных швов; определение содержания общего кислорода в металле шва, механических свойств, твердости сварных соединений и ударной вязкости швов при температурах 20 °С, –40 °С и –70 °С согласно требованиям Государственных стандартов и нормативных документов для резервуарных и мостовых металлоконструкций.

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 металле шва, соответствующая таковой в исходном металле (рис. 1), при этом снижается общее содержание кислорода в металле сварного шва (рис. 2).

Определение содержания кислорода методом восстановительного плавления на газоанализаторе фирмы «LECO» TC-600 показало, что массовая доля этого газа с повышением количества добавки во флюсе уменьшалась, а проведенный фракционный газовый анализ показал, что в зависимости от окисленности и основности шлаковой системы происходит перераспределение кислорода в неметаллических включениях. Распределение кислорода в силикатах, алюминатах, алюмосиликатах, по-видимому, связано с основностью полученного шлака и ассимиляцией неметаллических включений шлаком в зависимости от его получаемой вязкости. Наибольшее количество алюминатов и алюмосиликатов, неблагоприятно влияющих на физико-химические свойства сварного соединения, содержалось при сварке под флюсом АН-60 и Flux OK 10.71; при введении добавки наблюдалось снижение количества этих соединений. Во флюсах АН-348 и АН-67 изменения были незначительны.

Металлографические исследования полированных микрошлифов сварных соединений проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUS GX-51 в светлом поле при 100 и 500-кратных увеличениях. Микроструктуру металла выявляли травлением в 4 %-ом растворе HNO_3 в этиловом спирте. Структура основного металла всех проб состоит из зерен феррита и пластинчатого перлита (4 – 5 мкм). Заметного отличия структуры металла швов, выполненных под разными флюсами, не обнаружено. В образцах, сваренных под флюсами с углеродфторсодержащими добавками, наблюдалось снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями, что связано с уменьшением общего содержания кислорода.

Изучение механических свойств (предела текучести, прочности, относительного удлинения и ударной вязкости при отрицательных температурах) на образцах из стали 09Г2С, вырезанных по ГОСТ 6996 – 66, показало, что уровень свойств значительно выше требуемых ГОСТ 31385 – 2008 и возрастает с увеличением углеродфторсодержащей добавки; такая же тенденция сохраняется и для образцов из стали 10ХСНД по ГОСТ 6713 – 91. Особо следует отметить увеличение ударной вязкости при отрицательных температурах

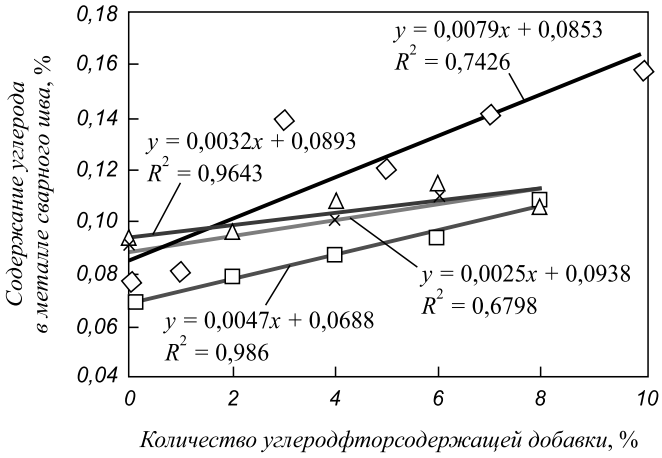

Рис. 1. Влияние углеродфторсодержащей добавки на содержание углерода в металле сварного шва, выполненного при использовании флюсов АН-348 (◇), АН-60 (□), АН-67(△), Flux OK 10.71 (×)

Fig. 1. Impact of carbon-fluorine-containing additive on the carbon content in metal of welding joint, produced with the use of: AN-348 (◇), AN-60 (□), AN-67(△), Flux OK 10.71 (×) fluxes

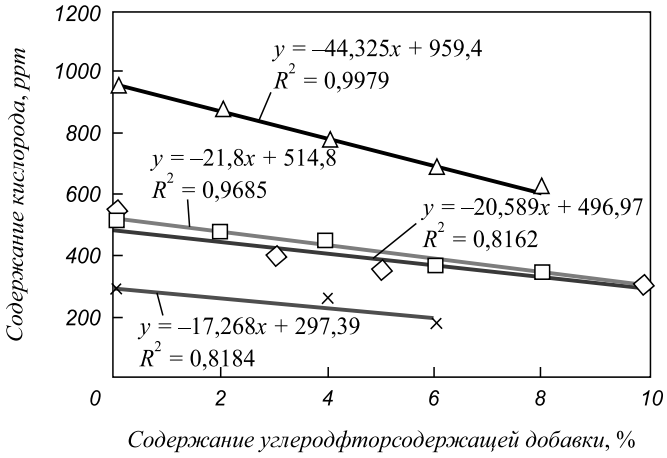

Рис. 2. Изменение содержания общего кислорода во флюсах АН-348(◇), АН-60(△), АН-67 (□) и Flux OK 10.71 (×) в зависимости от введения углеродфторсодержащей добавки

Fig. 2. Content changes of the total oxygen in AN-348(◇), AN-60(△), AN-67 (□) and Flux OK 10.71 (×) fluxes depending on the introduction of a carbon-fluorine-containing additive

образцов при использовании всех исследованных флюсов. Ниже приведены механические свойства металла сварного шва при сварке под различными флюсами:

Добавка ФД-УФС, %	Ударная вязкость, Дж/см^2, не менее	
	$KCU_{-40\,°C}$	$KCV_{-20\,°C}$
	Флюс АН-348	
2	100	30
4	102	30
6	104	30
	Флюс АН-60	
2	80	35
4	82	40
6	84	43
	Флюс АН-67	
2	130	40
4	132	41
6	134	42

Примечание. Использовалась сварочная проволока Св-08ГА.

Для оценки влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюс на выделение вредных веществ в атмосферу был проведен отбор проб воздуха рабочей зоны (см. таблицу) с применением аспиратора «М-822» при атмосферном давлении 750 мм рт. ст. и температуре 18,5 °С. Определение содержания оксида и диоксида углерода, гидрофторида, оксида и диоксида азота, водорода, кислорода, азота осуществляли с помощью фотометра КФК-3 и хроматографа Кристалл 5000.2.

По результатам исследования воздуха рабочей зоны согласно гигиеническим нормативам 2.2.5.1313 – 03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» и Р 2.2.2006 – 05 во время сварки под флюсом АН-348 с ведением ФД-УФС в количестве 6 % зафиксировано повышение содержания оксида углерода с 3,06 до 3,53 мг/м^3, содержание оксида азота, диоксида азота и гидрофторида осталось на прежнем уровне – менее 1,0 и 0,05 мг/м^3 соответственно. При этом уровень ПДК ни в одном из определенных соединений превышен не был. Повышение содержания оксида углерода в воздухе рабочей зоны, по-видимому, связано с его выделением из сварочной ванны за счет упомянутого выше механизма.

Выводы. При введении разработанной углеродфторсодержащей добавки во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и Flux OK 10.71 снижается газонасыщенность металла сварного шва, уменьшается его загрязненность оксидными неметаллическими включениями, повышается комплекс требуемых механических свойств и ударной вязкости (особенно при отрицательных температурах), при этом концентрации вредных веществ при сварке существенно не изменяются и не превышают допустимых норм. В условиях ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» на вновь введенном участке основана технология производства флюс-добавки по технологическим условиям, обеспечивающим получение гарантированных высоких механических свойств металла сварного шва.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грабин В.Ф. Металловедение сварки плавлением. – Киев: Наукова думка, 1982. – 416 с.
2. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2-х томах. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Конищев Б.П., Курланов С.А., Потапов Н.Н. и др. Под общ. ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
3. Подгаецкий В.В., Люборец И.И. Сварочные флюсы. – Киев: Техника, 1984. – 166 с.
4. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / А.В. Коновалов, А.С. Куркин, Э.Л. Макаров, В.М. Неровный, Б.Ф. Якушин; Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.

Состав воздуха рабочей зоны при сварке под флюсом АН-348 с использованием и без использования углеродфторсодержащей добавки

Содержание	Метод испытания, обозначение и номер нормативного документа	Содержание соединений по результатам испытания при сварке под флюсом		ПДК, мг/м^3
		АН-348	АН-348 + 6 % ФД-УФС	
NO, мг/м^3	МУК, 4.1.2473-09	< 1,0	< 1,0	5,0
NO_2, мг/м^3	МУК, 4.1.2473-09	< 1,0	< 1,0	2,0
HFO, мг/м^3	МУК, 4.1.1342-03	<0,05	<0,05	0,5
CO, мг/м^3	ПНД Ф, 13.1:2:3.27-99	3,06 ±0,70	3,53 ± 0,81	20,0
CO_2, % (об.)	ПНД Ф, 13.1:2.22-98	<0,3	< 0,3	–
CH_4, мг/м^3	ПНД Ф, 13.1:2:3.25-99	1,21 ± 0,28	1,01 ± 0,23	7000,0
H_2, % (об.)	ПНД Ф, 13.1:2.22-98	< 0,1	< 0,1	–
O_2, % (об.)	ПНД Ф, 13.1:2.22-98	20,48	20,71	–
N_2, % (об.)	ПНД Ф, 13.1:2.22-98	77,47	77,47	–

Примечание. МУК – методические указания, ПНД Ф – природоохранный нормативный документ федеральный.

5. Потапов Н.Н., Феклистов С.И., Волобуев Ю.С. Методика выбора плавленых флюсов при сварке перлитно-ферритных сталей // Сварочное производство. 2008. № 3. С. 8 – 11.
6. Кузьменко В.Г., Токарев В.С, Галинич В.И., Сокольский В.Э., Казимиров В.П. Выбор составов сварочных флюсов с учетом структурных характеристик их расплавов // Автоматическая сварка. 2002. № 10. С. 24 – 29.
7. Головко, В.В., Потапов Н.Н. Особенности агломерированных (керамических) флюсов при сварке // Сварочное производство. 2001. № 5. С. 3 – 7.
8. Размышляев А.Д., Миронова М.В. Эффективность процесса проплавления основного металла при дуговой наплавке проволокой под флюсом // Сварочное производство. 2011. № 7. С. 3 – 8.
9. Козырев Н. А., Игушев В. Ф., Крюков Р. Е., Роор А. В., Ковальский И. Н. Разработка добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 9 – 12.
10. Пат. 2484936 РФ. Керамический флюс-добавка / Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, З.В. Голдун. Опубл. 20.06.2013. Бюл. № 6.

Поступила 28 ноября 2013 г.

Izvestiya VUZov. Chernaya Metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy. 2015. Vol. 58. No. 4, pp. 258–261.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF NEW CARBON-FLUORINE-CONTAINING ADDITIVES FOR WELDING FLUXES

Kozyrev N.A., *Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Materials, foundry and welding production"*
(kozyrev_na@mts.sibsiu.ru)
Kryukov R.E., *Postgraduate of the Chair "Materials, foundry and welding production"*
Roor A.V., *undergraduate of the Chair "Materials, foundry and welding production"*
Bashchenko L.P., *Cand. Sci. (Eng.), Senior Editor of journal "Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya"*
Lipatova U.I., *student of the Chair "Materials, foundry and welding production"*

Siberian State Industrial University (42, Kirova str., Novokuznetsk, Kemerovo Region, 654007, Russia)

Abstract. Experimental study of the effect of the introduction of carbon-fluorine additives containing 14,01 – 22,72 % Al; 13 – 22,04 % F; 13,16 – 21,34 % C; 8,27 – 13,4 % Na; 0,09 – 0,14 % K; 0,66 – 1,09 % Ca; 26,11 – 42,35 % SiO_2; 1,15 – 1,86 % FeO; 0,07 – 0,12 % MnO; 0,001 – 0,1 % MgO; 1,47 – 2,38 % S; 0,03 – 0,05 % P into oxidative fluxes AN-348, AN-60, AN-67 when welding of steel 09G2S and aluminate-base OK Flux 10.71 flux at welding of steel 10HSND has been carried out. In the experiments it has been shown that from the point of view of the exclusion of formation in the weld of non-metallic inclusions, it is optimal to use carbon as a deoxidizer, as formed with the participation of gaseous carbon compounds (CO and CO_2) are easily removed and do not contaminate the weld metal with non-metallic inclusions. The studies have shown that the carbon-fluorine-containing additive in the composition of the fluxes has a positive effect on the quality of the weld. It has been found out that when using the analyzed additives in the amount of 4 - 6% in the data fluxes the overall oxygen content in the weld reduces. Fractional gas analysis revealed that the largest number of aluminates and silicates adversely affect the physico-chemical properties of welded joints, contained in the submerged-arc welding of AN-60 and OK Flux 10.71, with the introduction of additives the reduction of these compounds has been observed, while in AN-348 and AN-67 fluxes changes have been insignificant. When using the proposed additives the required mechanical properties, as well as impact strength at low temperatures by reducing contamination of the weld with oxide non-metallic inclusions increase, and the concentration of carbon in the weld remains at the level of the base metal.

Keywords: welding flux, carbon-fluorine-containing additive, metal of joint weld.

REFERENCES

1. Grabin V.F. *Metallovedenie svarki plavleniem* [Metallography of welding by melting]. Kiev: Naukova dumka, 1982. 416 p. (In Russ.).
2. Konishchev B.P., Kurlanov S.A., Potapov N.N. etc. *Svarochnye materialy dlya dugovoi svarki: Spravochnoe posobie v 2-kh tomakh. T. 1. Zashchitnye gazy i svarochnye flyusy* [Welding materials for arc welding: Reference book in 2 volumes. Vol. 1. Protective gases and welding fluxes]. Potapov N.N. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1989. 544 p. (In Russ.).
3. Podgaetskii V.V., Lyuborets I.I. *Svarochnye flyusy* [Welding fluxes]. Kiev: Tekhnika, 1984. 166 p. (In Russ.).
4. Konovalov A.V., Kurkin A.S., Makarov E.L., Nerovnyi V.M., Yakushin B.F. *Teoriya svarochnykh protsessov: Uchebnik dlya vuzov* [Theory of welding processes: Textbook for higher educational institutions]. Nerovnyi V.M. ed. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2007. 752 p. (In Russ.).
5. Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steels. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 10, pp. 800–803.
6. Kuz'menko V.G., Tokarev V.S, Galinich V.I., Sokol'skii V.E., Kazimirov V.P. Choice of welding flux compositions according to the structural characteristics of their melts. *Avtomaticheskaya svarka.* 2002, no. 10, p. 24–29. (In Russ.).
7. Golovko, V.V., Potapov N.N. Peculiarities of agglomerated (ceramic) fluxes when welding. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2010, no. 6, pp. 29–34. (In Russ.).
8. Razmyshlyaev A.D., Mironova M.V. Melting efficiency of the main metal at arc welding with wire under flux. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2011, no. 7, pp. 3–8. (In Russ.).
9. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Kryukov R.E., Roor A.V., Koval's-kii I.N. Development of additives for welding fluxes at welding of low-alloy steels. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2013, no. 5, p. 9–12. (In Russ.).
10. Kozyrev N.A., Igushev V.F., Kryukov R.E., Goldun Z.V. *Keramicheskii flyus-dobavka* [Ceramic flux-additive]. Patent RF 2484936, *Byul. Izobretenii*, no. 6. 2013. (In Russ.).

Acknowledgements. The work was performed in SibGIU within the project of the State task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation no. 11.1531.2014 / K.

Received November 28, 2013