

УДК 621.791:624

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ДОБАВОК УГЛЕРОДА И ФТОРА ВО ФЛЮСЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ИЗ ШЛАКА СИЛИКОМАНГАНЦА

Крюков Р.Е., к.т.н., доцент кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (rek_nzrmk@mail.ru)

Козырев Н.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, литейного и сварочного производства (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

Михно А.Р., магистрант кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства (mikno-mm131@mail.ru)

Бащенко Л.П., к.т.н., доцент кафедры теплоэнергетики и экологии (luda.baschenko@gmail.com)

Калиногорский А.Н., к.т.н., и.о. заведующего кафедрой «Металлургия черных металлов» (mchmsis@mail.ru)

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

Аннотация. Проведены исследования сварочного флюса, содержащего шлак силикомарганца с флюс-добавкой на основе пыли газоочистки производства алюминия. Изучено влияние введения углеродфторсодержащей добавки на содержание общего кислорода и водорода в металле сварного шва, а также на ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах. Для изготовления сварочного флюса использовали в качестве основы шлак силикомарганца, в качестве флюса – добавки пыли электрофильтров производства алюминия: шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода и пыль электрофильтров производства алюминия (углеродфторсодержащую добавку) объединенной компании «РУСАЛ». Сварку образцов проводили с помощью сварочного трактора ASAW-1250. Химический состав исследуемых сварных образцов определяли по ГОСТ 10543-98 атомноэмиссионным методом на спектрометре ДФС-71 и рентгенофлюоресцентным методом на спектрометре XRF-1800. Фракционный газовый анализ проводили с помощью анализатора LECO TC-600. Исследования сварных образцов на ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах проводили с помощью маятникового копра по ГОСТ 9454-78. Построены зависимости влияния количества введенной углеродфторсодержащей флюс-добавки на концентрацию кислорода и водорода в металле сварного шва. При использовании углеродфторсодержащей флюс-добавки в сварочный флюс на основе шлака силикомарганца снижается количество кислорода и водорода в металле сварного шва, при этом возрастает ударная вязкость при положительных и отрицательных температурах. Построены зависимости количества кислорода и водорода в металле сварного шва, а также ударной вязкости от количества введенной углеродфторсодержащей флюс-добавки.

Ключевые слова: сварка, сварочный флюс, техногенные отходы, шлак силикомарганца, пыль газоочистки, ударная вязкость, общий кислород, водород.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-1-34-39

ВВЕДЕНИЕ

Вопросам разработки новых сварочных и наплавочных флюсов с использованием техногенных отходов металлургического производства уделяется большое внимание в РФ [1 – 3]. При изготовлении сварочных и наплавочных материалов для удешевления их производства в последнее время используются различные шлаковые системы, в том числе с применением техногенных отходов металлургического производства [4 – 21]. Ряд исследований, проведенных ранее, посвящен совершенствованию составов сварочных флюсов на основе шлака производства силикомарганца. Предложены новые сварочные флюсы, изготовленные с использованием шлака силикомарганца с углеродфторсодержащей добавкой, изготовленной из пыли газоочистки алюминиевого производства [22, 23].

В настоящей работе представлено дальнейшее исследование сварочного флюса на основе шлака производства силикомарганца в смеси с углеродфторсодержащей флюс-добавкой.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для сварки образцов применяли сварочный трактор ASAW-1250. Химический состав исследуемых сварных образцов определяли по ГОСТ 10543-98 на спектрометре ДФС-71 (атомно-эмиссионный метод) и на спектрометре XRF-1800 (рентгенофлюоресцентный метод). Исследование сварных образцов на ударную вязкость (KCV) при положительных и отрицательных температурах проводили с помощью маятникового копра по ГОСТ 9454-78. Для проведения фракционного газового анализа применяли анализатор LECO TC-600.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВСЕСТОРОННЕЕ РАССМОТРЕНИЕ

ВОПРОСА

В настоящей работе проведены исследования сварочно-технологических свойств сварочного флюса, изготовленного из шлака силикомарганца и флюс-добавки на основе пыли газоочистки производства алюминия. Дополнительно изучено влияние введения углеродфторсодержащей добавки на содержание общего кислорода и водорода в металле сварного шва, а также влияние этой добавки на физико-механические свойства металла сварного шва (ударная вязкость при положительных и отрицательных температурах).

Для изготовления сварочного флюса в качестве основы использовали шлак силикомарганца, в качестве флюса – добавки пыли электрофильтров производства алюминия следующего химического состава:

– шлак силикомарганца производства Западно-Сибирского электрометаллургического завода, % (по массе): 6,91 – 9,62 Al_2O_3 ; 22,85 – 31,70 CaO; 46,46 – 48,16 SiO_2 ; 0,27 – 0,81 FeO; 6,48 – 7,92 MgO; 8,01 – 8,43 MnO; 0,28 – 0,76 F; 0,26 – 0,36 Na_2O ; до 0,62 K_2O ; 0,15 – 0,17 S; 0,01 P;

– пыль электрофильтров производства алюминия (углеродфторсодержащая добавка) объединенной компании «РУСАЛ», % (по массе): 21,00 – 46,23 Al_2O_3 ; 18 – 27 F; 8 – 15 Na_2O ; 0,4 – 6,0 K_2O ; 0,7 – 2,3 CaO; 0,5 – 2,48 SiO_2 ; 2,1 – 3,27 Fe_2O_3 ; 12,5 – 30,2 $C_{общ}$; 0,07 – 0,90 MnO; 0,06 – 0,90 MgO; 0,09 – 0,19 S; 0,1 – 0,18 P.

Изготовление флюс-добавки проводили по методу, описанному в работах [22, 23].

Состав исследуемых сварочных флюсов приведен ниже:

Образец	Количество в сварочном флюсе, %	
	шлак силикомарганца	углеродфторсодержащая добавка
0	100	–
2	98	2
4	96	4
6	94	6

Сварку под флюсами проводили встык с двух сторон на образцах из листовой стали 09Г2С размером 500×75 мм толщиной 16 мм. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм. Использовали сварочный трактор АСАW1250, режим работы: сила тока ($I_{св}$) 700 А; напряжение ($U_{д}$) 30 В; скорость сварки ($V_{св}$) 35 м/ч.

После сварки образцы исследовали на содержание общего кислорода, водорода в металле сварного шва, определяли ударную вязкость при положительных и отрицательных температурах (таблица).

Концентрация кислорода в металле сварного шва с повышением содержания углеродфторсодержащей

Ударная вязкость сварных образцов

Impact strength of welded samples

Образец	Ударная вязкость, Дж/см ²		Содержание кислорода общего и поверхностного, ppm	Содержание водорода, см ³ /100 г
	KCV +20 °C	KCV –20 °C		
0	43,3	17,16	759,5	2,0
2	46,4	24,33	456,0	1,8
4	51,4	25,00	402,5	1,4
6	59,2	31,83	236,5	1,3

добавки во флюсе уменьшается (рис. 1). При сварке под флюсом без добавки, по сравнению с пробами с 6 % углеродфторсодержащей добавки, массовая доля кислорода снижается в среднем с 759,5 до 236,5 ppm.

Фракционный газовый анализ выявил, что массовая доля кислорода в силикатах с повышением содержания добавки во флюсе изменилась при сварке под флюсом без добавки по сравнению с пробами с 6 % углеродфторсодержащей добавки в среднем с 628,25 до 155,1 ppm. В алюминатах, алюмосиликатах кальция, силикатах кальция и магниевых шпинелях значительных изменений не выявлено.

Распределение кислорода в силикатах, алюминатах, алюмосиликатах по-видимому связано с окисленностью полученного шлака и ассимиляцией неметаллических включений шлаком в зависимости от получаемой вязкости шлака.

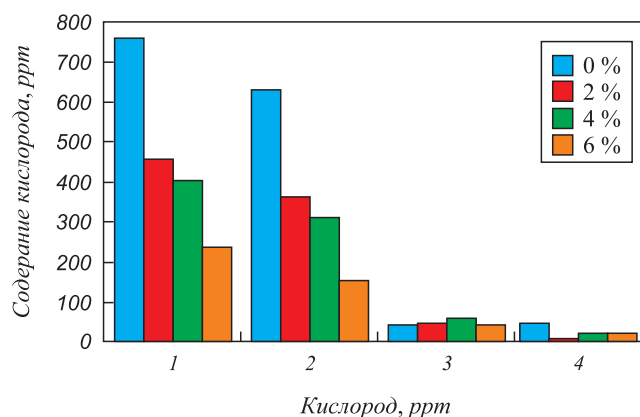


Рис. 1. Фракционный газовый анализ образцов, содержащих 0, 2, 4 и 6 % углеродфторсодержащей добавки и количество кислорода, ppm: 1 – общего и поверхностного; 2 – в силикатах; 3 – в алюминатах; 4 – в алюмосиликатах кальция, силикатах кальция, магниевых шпинелях

Fig. 1. Fractional gas analysis of the samples containing 0, 2, 4 and 6 % of carbon-fluoride additives and the amount of oxygen, ppm: 1 – general and superficial; 2 – in silicates; 3 – in alluminates; 4 – in aluminum-calcium silicates, in calcium silicates, and in magnesium spinels

Анализ механических свойств (ударной вязкости при положительных и отрицательных температурах) показал, что их уровень увеличивается с повышением количества углеродфторсодержащей добавки. При введении 6 % углеродфторсодержащей добавки во флюс ударная вязкость KCV при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ повышается на 88 %, при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ увеличивается на 37 %.

На рис. 2 приведены зависимости изменения количества общего кислорода и ударной вязкости при отрицательных и положительных температурах от количества введенной флюс-добавки.

На рис. 3 показаны зависимости ударной вязкости при отрицательных и положительных температурах от содержания общего кислорода в металле сварного шва.

При внесенных изменениях в данные по кислороду есть корреляция между ударной вязкостью и содержанием кислорода (рис. 3).

На рис. 4 приведены зависимости изменения количества водорода и ударной вязкости при отрицательных и положительных температурах от количества введенной флюс-добавки.

На рис. 5 показаны зависимости изменения ударной вязкости при отрицательных и положительных температурах от количества водорода в металле сварного шва.

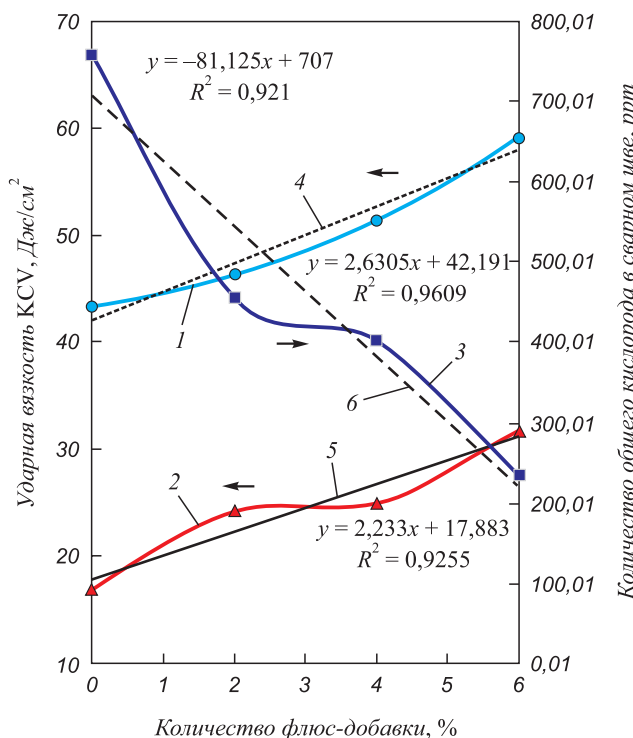


Рис. 2. Изменение ударной вязкости (KCV) при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) и $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) и количества общего кислорода в металле сварного шва (3) от количества флюс-добавки; 4, 5, 6 – линейные зависимости

Fig. 2. Change in impact strength (KCV) at $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) and $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) and total oxygen amount in weld metal (3) depending on the amount of flux additive; 4, 5, 6 – linear dependences

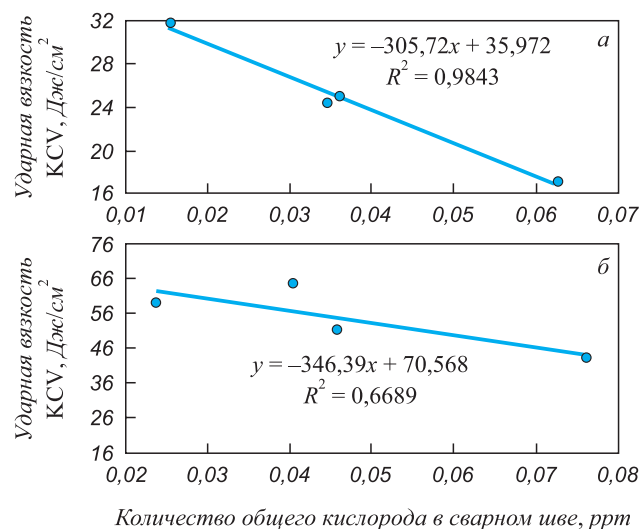


Рис. 3. Зависимость ударной вязкости при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б) от количества общего кислорода в металле сварного шва

Fig. 3. Dependence of impact strength at temperature of $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) and $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) on total oxygen amount in weld metal

Проведенный анализ выявил, что содержание водорода в металле шва уменьшилось с $2,0\text{ см}^3/100\text{ г}$ металла до $1,3\text{ см}^3/100\text{ г}$ металла (сварка под флюсом без добавки и с 6 % углеродфторсодержащей добавки).

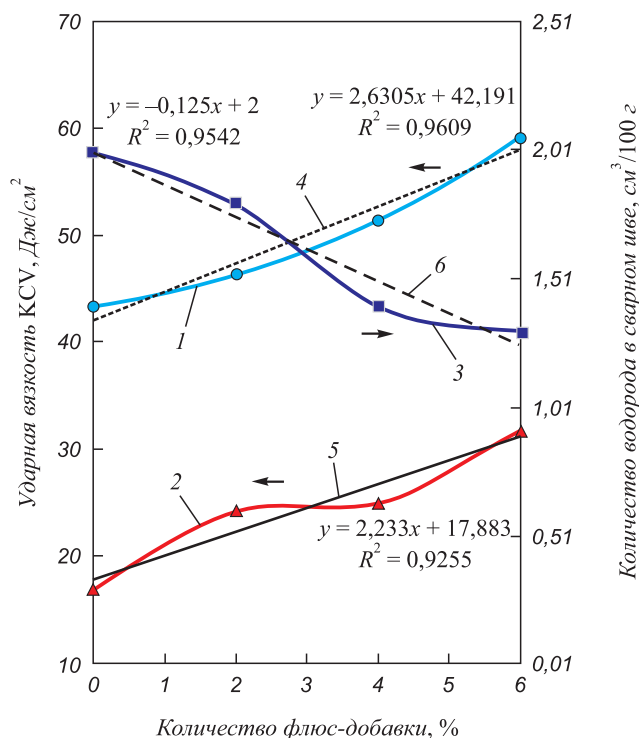


Рис. 4. Изменение ударной вязкости (KCV) при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) и $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) и количества водорода в металле сварного шва (3) от количества углеродфторсодержащей добавки; 4, 5, 6 – линейные зависимости

Fig. 4. Change in impact strength (KCV) at $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1) and $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2) and total hydrogen amount in weld metal (3) depending on the amount of flux additive; 4, 5, 6 – linear dependences

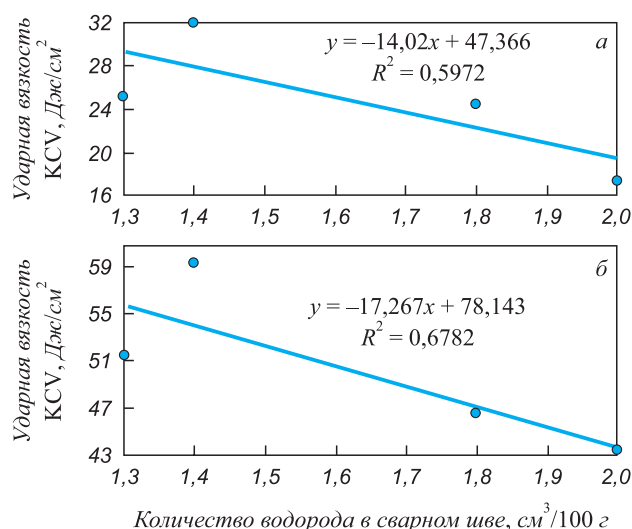


Рис. 5. Зависимость ударной вязкости при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (а) и $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (б) от количества водорода в металле сварного шва

Fig. 5. Dependence of impact strength at $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (a) and $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (b) on hydrogen amount of in weld metal

ВЫВОДЫ

При использовании углеродфторсодержащей флюс-добавки в сварочный флюс на основе шлака силико-марганца снижается количество кислорода и водорода в металле сварного шва, при этом возрастает ударная вязкость при положительных и отрицательных температурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбин В.В., Калинин В.Т., Брусицын Ю.Д. и др. Высококачественные компоненты сварочных материалов из минерального сырья Кольского полуострова и горнопромышленных отходов. – В кн.: Научные основы химии и технологии переработки комплексного сырья и синтеза на его основе функциональных материалов. Матер. науч.-технич. конф. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2008. Т. 1. С. 22 – 23.
2. Наумов С.В., Канина А.Е., Игнатова А.М., Игнатов М.Н. О фракционном составе сварочных флюсов // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 2. С. 125 – 167.
3. Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // Welding International. 2011. Vol. 25. No. 11. P. 889 – 893.
4. Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González etc. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties // Welding International. 2009. Vol. 23. No. 2. P. 120 – 131.
5. Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P. etc. Obtaining a submerged arc welding flux of the $\text{MnO-SiO}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$ system by fusion // Welding International. 2007. Vol. 21. No. 7. P. 502 – 511.
6. Rafael Quintana Puchol, Jeily Rodríguez Blanco, Lorenzo Perdomo Gonzalez etc. The influence of the air occluded in the deposition

layer of flux during automatic welding: a technological aspect to consider in the quality of the bead // Welding International. 2009. Vol. 23. No. 2. P. 132 – 140.

7. Volobuev Yu.S., Volobuev O.S., Parkhomenko A.G. etc. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams // Welding International. 2012. Vol. 26. No. 8. P. 649 – 653.
8. Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxes // Welding International. 1987. Vol. 1. No. 10. P. 951 – 954.
9. Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S. etc. The development and properties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components // Welding International. 2010. Vol. 24. No. 4. P. 298 – 300.
10. Поволоцкий Д.Я., Рошин В.Е., Мальков Н.В. Электротехнология стали и ферросплавов. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.
11. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Металлургия, 1988. – 784 с.
12. Сварочные материалы для дуговой сварки. Справочник. В 2-х т. Т. 1. Защитные газы и сварочные флюсы / Б.П. Конищев, С.А. Курланов, Н.Н. Потапов, и др.; под ред. Н.Н. Потапова. – М.: Машиностроение, 1989. – 544 с.
13. Подгаецкий В.В., Рабкин Д.М. Флюсы для автоматической и полуавтоматической сварки. – Киев: Изд-во АН УССР, 1954. – 56 с.
14. Bublik O.V., Chamov S.V. Advantages and shortcomings of ceramic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications // Welding International. 2010. Vol. 24. No. 9. P. 730 – 733.
15. Gur'ev S.V., Pletnev Yu.M., Murav'ev I.I. Investigation of the properties of welded joints produced by welding in a gas mixture and under a flux // Welding International. 2012. Vol. 26. No. 8. P. 646 – 648.
16. Parshin S.G. Using ultrafine particles of activating fluxes for increasing the productivity of MIG/MAG welding of steels // Welding International. 2012. Vol. 26. No. 10. P. 800 – 804.
17. Barmin L.N. Effect of the composition of flux and welding wire on the properties of deposited metal of 05N4MYu type // Welding International. 1989. Vol. 3. No. 2. P. 109 – 111.
18. Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A method of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steel // Welding International. 2009. Vol. 23. No. 10. P. 800 – 803.
19. Pavlov I.V., Oleinichenko K.A. Regulating generation of CO by varying the composition of ceramic fluxes // Welding International. 1995. Vol. 9. No. 4. P. 329 – 332.
20. Толстов И.А., Коротков В.А. Справочник по наплавке. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 384 с.
21. Поволоцкий Д.Я., Рошин В.Е., Мальков Н.В. Электротехнология стали и ферросплавов. – М.: Металлургия, 1995. – 592 с.
22. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др. Углеродсодержащие флюс-добавки для сварочных флюсов // Сварочное производство. 2016. № 5. С. 9 – 14.
23. Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е. и др. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 1. Углеродсодержащие добавки для сварочных флюсов // Черная металлургия. Бул. ин-та «Черметинформация». 2017. Вып. 4 (1408). С. 86 – 89.

Поступила в редакцию 15 мая 2019 г.

После доработки 17 июня 2019 г.

Принята к публикации 20 июня 2019 г.

INFLUENCE OF INTRODUCTION OF CARBON AND FLUORINE ADDITIVES TO FLUXES MADE OF SILICOMARGANESE SLAG

R.E. Kryukov, N.A. Kozyrev, A.R. Mikhno, L.P. Bashchenko,
A.N. Kalinogorskii

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Kemerovo Re-
gion, Russia

Abstract. The authors have carried out the investigations of fluxing agent containing silicomanganese slag with a flux additive based on gas treatment dust of aluminum production. Influence of carbon-fluorine-containing additive introduction on total oxygen and hydrogen content in weld metal has been studied, as well as its influence on impact strength at positive and negative temperatures. For fluxing agent manufacture, silicomanganese slag was used as a base, and aluminum production electrostatic precipitators dust was used as additive. Silicomanganese slag is produced by the West Siberian Electrometallurgical Plant; dust is from aluminum production electrostatic precipitators (carbon-fluorine-containing adding) of RUSAL Co. Samples were welded on ASAW-1250 welding tractor. Chemical composition of studied welded samples was investigated according to GOST 10543 – 98 by atomic emission method on DFS-71 spectrometer and by X-ray fluorescence method on XRF-1800 spectrometer. Fractional gas analysis was performed using LECO TS-600 analyzer. Welded samples were tested for impact strength at positive and negative temperatures using impact pendulum-type testing machine according to GOST 9454 – 78. When using a carbon-fluorine-containing flux additive in welding flux based on silicomanganese slag, amount of oxygen and hydrogen in weld metal decreases, while impact strength increases at positive and negative temperatures. Dependences of the amount of oxygen and hydrogen in weld metal and impact strength on the amount of introduced carbon-fluorine-containing flux additive were constructed.

Keywords: welding, welding flux, industrial waste, silicomanganese slag, gas treatment dust, impact strength, total oxygen, hydrogen.

DOI: 10.17073/0368-0797-2020-1-34-39

REFERENCES

- Rybin V.V., Kalinnikov V.T., Brusnitsyn Yu.D. etc. High-quality components of welding materials from minerals of the Kola Peninsula and mining waste. In: *Nauchnye osnovy khimii i tekhnologii pererabotki kompleksnogo syr'ya i sinteza na ego osnove funktsional'nykh materialov. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Fundamentals of chemistry and technology of complex raw materials processing and synthesis of functional materials on their base. Materials of sci. and tech. conf.]. Apatity: Izd-vo Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2008, vol. 1, pp. 22–23. (In Russ.).
- Naumov S.V., Kanina A.E., Ignatova A.M., Ignatov M.N. On fractional composition of welding fluxes. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2012, no. 2, pp. 125–167. (In Russ.).
- Golovko V.V., Potapov N.N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding. *Welding International*. 2011, vol. 25, no. 11, pp. 889–893.
- Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Díaz Cedréa, Tamara Ortíz. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 2, pp. 120–131.
- Crespo A.C., Puchol R.Q., Gonzalez L.P., Sanchez L.G., Gomez Perez C.R., Cedre E.D., Mendez T.O., Pozol J.A. Obtaining a submerged arc welding flux of the MnO–SiO₂–CaO–Al₂O₃–CaF₂ system by fusion. *Welding International*. 2007, vol. 21, no. 7, pp. 502–511.
- Rafael Quintana Puchol, Jeily Rodríguez Blanco, Lorenzo Perdomo Gonzalez, Gilma Castellanos Hernández, Carlos Rene Gómez Pérez. The influence of the air occluded in the deposition layer of flux during automatic welding: a technological aspect to consider in the quality of the bead. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 2, pp. 132–140.
- Volobuev Yu.S., Volobuev O.S., Parkhomenko A.G., Dobrozhe-la E.I., Klimenchuk O.S. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 8, pp. 649–653.
- Potapov N.N., Kurlanov S.A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxes. *Welding International*. 1987, vol. 1, no. 10, pp. 951–954.
- Volobuev Yu.S., Surkov A.V., Volobuev O.S., Kipiani P.N., Shes-tov D.V., Pavlov N.V., Savchenko A.I. The development and prop-erties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 4, pp. 298–300.
- Povolotskii D.Ya., Roshchin V.E., Mal'kov N.V. *Elektrometallur-giya stali i ferrosplavov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1995, 592 p. (In Russ.).
- Gasik M.I., Lyakishev N.P., Emlin B.I. *Teoriya i tekhnologiya proiz-vodstva ferrosplavov* [Theory and technology of ferroalloys produc-tion]. Moscow: Metallurgiya, 1988, 784 p. (In Russ.).
- Konishchev B.P., Kurlanov S.A., Potapov N.N. etc. *Svarochnyye materialy dlya dugovoi svarki. Spravochnik. V 2 t. T. 1. Zashchitnye gazy i svarochnyye flyusy* [Welding materials for arc welding. Reference book. In 2 vols. Vol. 1. Shielding gases and welding fluxes]. Potapov N.N. ed. Moscow: Mashinostroenie, 1989, 544 p. (In Russ.).
- Podgaetskii V.V., Rabkin D.M. *Flyusy dlya avtomaticheskoi i polu-avtomaticheskoi svarki* [Fluxes for automatic and semi-automatic welding]. Kiev: Izd-vo AN USSR, 1954, 56 p. (In Russ.).
- Bublik O.V., Chamov S.V. Advantages and shortcomings of cera-mic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications. *Welding International*. 2010, vol. 24, no. 9, pp. 730–733.
- Gur'ev S.V., Pletnev Yu.M., Murav'ev I.I. Investigation of the prop-erties of welded joints produced by welding in a gas mixture and under a flux. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 8, pp. 646–648.
- Parshin S.G. Using ultrafine particles of activating fluxes for in-creasing the productivity of MIG/MAG welding of steels. *Welding International*. 2012, vol. 26, no. 10, pp. 800–804.
- Barmin L.N. Effect of the composition of flux and welding wire on the properties of deposited metal of 05N4MYu type. *Welding Inter-national*. 1989, vol. 3, no. 2, pp. 109–111.
- Potapov N.N., Feklistov S.I., Volobuev Yu.S., Potekhin V.P. A meth-od of selecting fused fluxes in welding pearlitic-ferritic steel. *Welding International*. 2009, vol. 23, no. 10, pp. 800–803.
- Pavlov I.V., Oleinichenko K.A. Regulating generation of CO by varying the composition of ceramic fluxes. *Welding International*. 1995, vol. 9, no. 4, pp. 329–332.
- Tolstov I.A., Korotkov V.A. *Spravochnik po naplavke* [Surfacing guide]. Chelyabinsk: Metallurgiya, 1990, 384 p. (In Russ.).
- Povolotskii D.Ya., Roshchin V.E., Mal'kov N.V. *Elektrometallur-giya stali i ferrosplavov* [Electrometallurgy of steel and ferroalloys]. Moscow: Metallurgiya, 1995, 592 p. (In Russ.).
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Koval'skii I.N., Bend-re Yu.V. Carbon flux additives for welding fluxes. *Svarochnoe proiz-vodstvo*. 2016, no. 5, pp. 9–14. (In Russ.).
- Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Kryukov N.E., Koval'skii I.N., Ko-zyreva O.E. Development of new welding fluxes and flux additives for welding and surfacing of steel using metallurgical production

waste. Report 1. Carbon-containing additives for welding fluxes. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2017, vol. 4 (1408), pp. 86–89. (In Russ.).

Information about the authors:

R.E. Kryukov, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production"* (rek_nzrmk@mail.ru)

N.A. Kozyrev, *Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production"* (kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru)

A.R. Mikhno, *MA Student of the Chair "Materials, Foundry and Welding Production"* (mikno-mm131@mail.ru)

L.P. Bashchenko, *Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Thermal Power and Ecology"* (luda.baschenko@gmail.com)

A.N. Kalinogorskii, *Cand. Sci. (Eng.), Acting Head of the Chair of Ferrous Metallurgy* (mchmsis@mail.ru)

Received May 15, 2019

Revised June 17, 2019

Accepted June 20, 2019
