

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШЛАКОВОЙ КОРКИ В ПРОИЗВОДСТВЕ АГЛОМЕРИРОВАННЫХ ФЛЮСОВ

И.А. ГОНЧАРОВ¹, Л.И. ФАЙНБЕРГ¹, А.А. РЫБАКОВ¹, А.В. НЕТЯГА²

¹ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²НТУУ «Киевский политехнический институт». 03056, г. Киев, просп. Победы, 37

Использование отходов плавящихся и агломерированных флюсов является актуальной задачей. Но применительно к агломерированным флюсам отсутствуют литературные данные об эффективном использовании шлаковой корки. В данной работе проведен анализ возможности использования шлаковой корки агломерированных флюсов для изготовления флюсов, обеспечивающих качественное формирование и высокие механические свойства металла шва при скоростной многодуговой сварке хладостойких низколегированных сталей. Проведено сравнительное исследование сварочно-технологических свойств оригинального флюса ОК 10.74 и опытных флюсов на основе дробленой шлаковой корки при одно- и четырехдуговой сварке. Методом спектрального анализа изучен химический состав металла сварных швов. Методом оптической металлографии исследованы распределение в них неметаллических включений и особенности микроструктуры. Ударную вязкость металла швов определяли методом испытаний на ударный изгиб. Установлено, что флюс, изготовленный по методу агломерирования с добавкой в состав шихты 5 мас. % марганца металлического, по всем исследованным показателям близок к оригинальному флюсу ОК 10.74, а по уровню ударной вязкости отвечает требованиям к сварным соединениям хладостойких газопроводных труб из сталей категории прочности до Х80 включительно. Полученные результаты представляют интерес для потребителей флюса с точки зрения повышения эффективности его использования при многодуговой сварке труб большого диаметра. Библиогр. 10, табл. 4, рис. 3.

Ключевые слова: сварка под флюсом, агломерирование, регенерирование, неметаллические включения, микроструктура, ударная вязкость металла шва

При сварке под флюсом образуются отходы, включающие нерасплавленную часть флюса и шлаковую корку (ШК), которая характеризуется пониженным содержанием водорода, растворенного в форме OH^- [1], серы и фосфора. Эти отходы, относящиеся к III классу опасности, должны храниться в закрытой таре. Объемы ШК на ряде предприятий, например, трубных заводах, исчисляются тысячами тонн, поэтому работы по их утилизации весьма актуальны. Вопрос использования отходов плавящихся флюсов (нерасплавленной части флюса и ШК) стоит перед исследователями уже достаточно давно [2]. Известна технология регенерации нерасплавленной части флюса [3], которая на передовых трубных станах реализуется непосредственно в процессе сварки. ШК используют при выплавке флюсов [4], либо путем ее добавления в измельченном виде к исходному флюсу. Исследования показали, что в процессе сварки не происходит существенных изменений в строении и составе шлака, исключающих возможность его применения непосредственно в виде флюса [5]. Поэтому ее использование в качестве компонента шихты для выплавки флюса нерационально в случаях, когда нет необходимости получать флюсы с насыпной массой $< 1,1 \text{ кг/дм}^3$, используемые обычно при многодуговой сварке с повышенной скоростью. Предложена технология изготовления

регенерированных сварочных флюсов, заключающаяся в дроблении ШК с последующей магнитной сепарацией и рассевом на фракции [6]. Такие флюсы обеспечивают повышенную стойкость сварных швов к порообразованию [7].

Все описанные выше исследования касались сварочных плавящихся флюсов. Для агломерированных флюсов с учетом их высокой стоимости предъявляются повышенные требования в части прочности гранул с целью повышения доли повторно использованных после сепарации отходов нерасплавленного при сварке флюса.

Работ, посвященных применению ШК агломерированных флюсов, в литературе немного. В работе [8] установлено, что агломерированный флюс, изготовленный из ШК, снижает легирование шва и, соответственно, прочностные свойства, в то время как его ударная вязкость зависит от конкретных условий. Поэтому его применение требует проведения контроля за качеством сварных соединений, технологией изготовления регенерированного флюса [9].

Наши исследования [10] показали возможность использования ШК, образующейся при многодуговой сварке под смесью алюминатно-основного агломерированного флюса ОР-132 и плавящего марганцево-силикатного флюса АН-60, взятых в соотношении 1:4, при изготовлении регенерированно-

Таблица 1. Химический состав металла швов при сварке стали 10Г2ФБ под различными флюсами (мас. %) с использованием сварочной проволоки марки Св-08Г1НМА

Флюс	Количество дуг	Номер шва	C	Si	Mn	Ni	Mo	Al	Nb	V	Ti	S	P
ОК 10.74	1	401	0,084	0,50	1,71	0,25	0,28	0,028	н/д	0,060	0,010	н/д	н/д
ОК 10.74	4	386	0,085	0,43	1,64	0,20	0,20	0,025	0,021	0,059	0,012	0,009	0,019
А	1	400	0,090	0,34	1,57	0,20	0,23	0,026	н/д	0,064	0,006	н/д	н/д
В	4	405	0,088	0,30	1,68	0,19	0,22	0,024	0,024	0,059	0,007	н/д	н/д
ОМ: 10Г2ФБ			0,103	0,25	1,57	0,20	<0,01	0,030	0,030	0,081	0,013	0,005	0,013

го флюса. Такой флюс имел хорошие формирующие свойства при однодуговой сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей со скоростью до 40 м/ч. Механические свойства наплавленного металла при сварке проволокой Св-08Г1НМА диаметром 4 мм, следующие: $\sigma_T = 530,7$ МПа; $\sigma_B = 649,4$ МПа; $\delta = 25,3$ %; $\psi = 63,7$ %; KCV при -20 °С — (35,3...40,3)/37,7; при 0 °С — (41,2...47,1)/44,9; при 20 °С — (54,9...82,4)/71,8.

Однако этот флюс был непригоден для скоростной многодуговой сварки из-за высокого насыпного веса, являющегося причиной образования дефектов формирования швов. Кроме того, уровень ударной вязкости металла шва не удовлетворял требованиям к сварным соединениям хладостойких сталей.

Целью данной работы является анализ возможности использования ШК агломерированных флюсов для изготовления флюсов, обеспечивающих качественное формирование и высокие механические свойства металла шва при скоростной многодуговой сварке хладостойких низколегированных сталей.

В настоящее время трубные заводы используют агломерированные импортные флюсы преимущественно алюминатно-основного типа согласно классификации EN 760 марок OP 132 («Oerlikon»), ОК 10.74 («ESAB»), 995N, 998 («Lincoln») и др. Учитывая высокую стоимость указанных флюсов, представляло практический интерес оценить возможность изготовления флюсов из образующейся при сварке ШК. В качестве объекта для исследований была взята ШК флюса ОК 10.74, образующаяся при многодуговой сварке трубных сталей проволокой Св-08Г1НМА.

Ниже описана методика работы по изготовлению регенерированного флюса. Из размолотой

ШК флюса ОК 10.74 были отобраны две фракции: 0,315...4,0 мм и $\leq 0,315$ мм.

Затем была выполнена тщательная магнитная сепарация, в результате которой из фракции 0,315...4,0 мм ШК были удалены капли электродного металла и окалина. В результате был получен продукт, отвечающий по гранулометрическому составу плавленому флюсу марки АН-60. Аналогичная технология применялась в работах [6, 7] при изготовлении регенерированного флюса. Поэтому указанный выше материал мы условно обозначили как регенерированный флюс по варианту «А». Его насыпная масса составила 1,72 кг/дм³, что значительно превышает рекомендуемые для многодуговой сварки значения 0,9...1,2 кг/дм³. Зерно флюса имело размер 0,315...4,0 мм с преобладанием фракции размером 0,315...1,6 мм. Следует отметить, что эта фракция является типичной для большинства агломерированных и целого ряда плавленых флюсов. Перед сваркой флюсы прокаливали при 400 °С в течение 2 ч.

Из данных о химическом составе металла швов, сваренных под флюсом ОК10.74 (швы №№ 386, 401), и под регенерированным флюсом по варианту «А» (шов № 400) видно, что при использовании регенерированного флюса заметно снижается легирование металла шва по ряду элементов (табл. 1), причем наиболее существенным представляется уменьшение в нем содержания марганца.

С учетом полученных данных, в размолотую ШК фракции $\leq 0,315$ мм после магнитной сепарации и проковки добавляли 5 % марганца металлического марки Мн-98 (фракция 0,2...0,4 мм), получая в интенсивном смесителе однородную сухую смесь. Затем на основе Na-K жидкостекольного связующего по известной технологии была изго-

Таблица 2. Физические свойства флюсов

Обозначение флюса	Размер гранул флюса, мм	Насыпная масса, кг/дм ³	Примечание
А	0,315...4,0	1,72	Преобладание фракции 0,315...1,6 мм
В	0,2...4,0	1,26	Преобладание фракции 0,2...1,6 мм
ОК10.74	0,2...1,6	1,02	—

Т а б л и ц а 3. Режимы сварки с использованием проволоки Св-08Г1НМА диаметром 4 мм

Флюс	Количество дуг	Номер шва	$I/U, A/B$	$v_{св}, м/ч$	$q/v_{св}, кДж/мм$	$B, мм$
А (однодуговая сварка)	1	400	720...750/39...40	23,5	4,4	21
В (однодуговая сварка)	1	403	850...880/36...37	24,0	4,7	25
	1	402	820...850/38...39	24,0	4,8	27...28
В (четырёхдуговая сварка)	1	405	1150/35...36	99,2	4,5	25
	2		800...850/35			
	3		650...700/38			
	4		700/38...40			
ОК10.74 (однодуговая сварка)	1	401	820...830/37	23,5	4,7	30
ОК10.74 (четырёхдуговая сварка)	1	386	1150/33	98,0	4,5	25
	2		900/35			
	3		700/40			
	4		600/43			

Примечание. Межэлектродные расстояния при четырёхдуговой сварке составляли 15...21 мм ($q/v_{св}$ – погонная энергия процесса сварки; B – ширина шва).

товлена партия агломерированного флюса. Насыпная масса полученного флюса, обозначаемого далее как «В», составила 1,26 кг/дм³ (табл. 2).

Флюсы оценивали по формированию наплавков, а также по химическому составу и ударной вязкости контрольных швов, выполняемых на односторонних стыковых соединениях из стали 10Г2ФБЮ толщиной 19 мм с V-образной разделкой 5 мм×90°. Режимы одно- и двухдуговой сварки с использованием проволоки Св-08Г1НМА диаметром 4 мм приведены в табл. 3.

Процесс сварки под флюсом «А» был нестабильным с выплесками и формированием высокого узкого гребня ШК. Полученный шов (№ 400) имел высокое усиление с неплавным переходом к основному металлу и небольшими подрезами. Такое формирование шва связано, по-видимому, с повышенной насыпной массой флюса (1,72 кг/дм³).

При сварке под флюсом «В» стабильность процесса и качество формирования швов, выполненных одно- и четырёхдуговой сваркой, были удовлетворительными. Фотографии швов приведены на рис. 1.

Шов № 400, выполненный однодуговым процессом сварки, сваренный под регенерированным флюсом «А», показал достаточно высокую ударную вязкость ($KCV_{-40} = 62,6$ Дж/см²), однако, как указывалось, по внешнему виду сварной шов имел недостатки.

Шов № 405, выполненный четырёхдуговой сваркой под агломерированным флюсом «В», имел удовлетворительные свойства. По химическому составу, за исключением кремния, он близок к шву № 386, выполненному четырёхдуговым процессом сварки, под оригинальным флюсом ОК10.74 (табл. 1), а по ударной вязкости (табл. 4) лишь ненамного ему

уступает. Среднее ее значение для шва по варианту «В» ($KCV_{-40} = 81,8$ Дж/см²) является вполне приемлемым. Возможным резервом для обеспечения более высокой ударной вязкости швов при температурах –40 °С и ниже является легирование Ti–В.

Морфологию и особенности распределения в швах неметаллических включений (НМВ) исследовали на нетравленных шлифах с полированной поверхностью при увеличении 800. Установлено, что основная масса НМВ расположена относительно равномерно и представляет собой мелкие глобулярные оксиды сложного состава, состоящие из Mn, Al, Si, Ti, Ca, Fe в различных соотношениях.

В шве № 386, сваренном под флюсом ОК 10.74, размер большей части НМВ составляет 1,0...1,2 мкм (рис. 2, а). В отдельных полях зре-



Рис. 1. Внешний вид швов, выполненных одно- (а) и четырёхдуговым (б) процессом сварки, сваренных под флюсом «В» из ШК флюса ОК 10.74 (×1,5)

Таблица 4. Ударная вязкость металла швов при сварке стали 10Г2ФБ

Флюс	Количество дуг	Номер шва	KCV, Дж/см ²		
			-20 °C	-40 °C	-60 °C
ОК 10.74	4	386	$\frac{106,2...203,7}{162,9}$	$\frac{77,1...101,2}{92,9}$	$\frac{43,5...77,3}{60,6}$
А	1	400	$\frac{95,2...109,1}{100,7}$	$\frac{53,7...69,5}{62,6}$	$\frac{33,4...55,5}{44,0}$
В	4	405	$\frac{85,1...162,0}{115,7}$	$\frac{60,8...96,8}{81,8}$	$\frac{30,3...71,1}{54,6}$

ния наблюдаются 1...2 более крупных включения величиной около 1,5 мкм (рис. 2, б). При сварке под регенерированным флюсом по варианту «А» (шов № 400) общее количество НМВ незначительно увеличивается. Их размер составляет преимущественно 1,0...1,6 мкм (рис. 2, в). При этом возрастает также количество и размер крупных (более 1,5 мкм) включений, с большим содержанием кремния (рис. 2, г).

В шве № 405, сваренном под агломерированным флюсом по варианту «В», количество, распределение и размеры НМВ близки ко шву № 386,

выполненному под исходным флюсом ОК 10.74, причем силикатные включения, наблюдавшиеся в шве № 400, отсутствуют (рис. 2, д, е).

Особенности состава и морфологии структурных составляющих швов исследовали на шлифах после их травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты при увеличении 100 и 500. Микроструктура швов состоит из смеси различных форм феррита в различном их соотношении. Так, в шве № 386, сваренном под флюсом ОК 10.74, основной структурной составляющей является игольчатый феррит. Доля зернограничного поли-

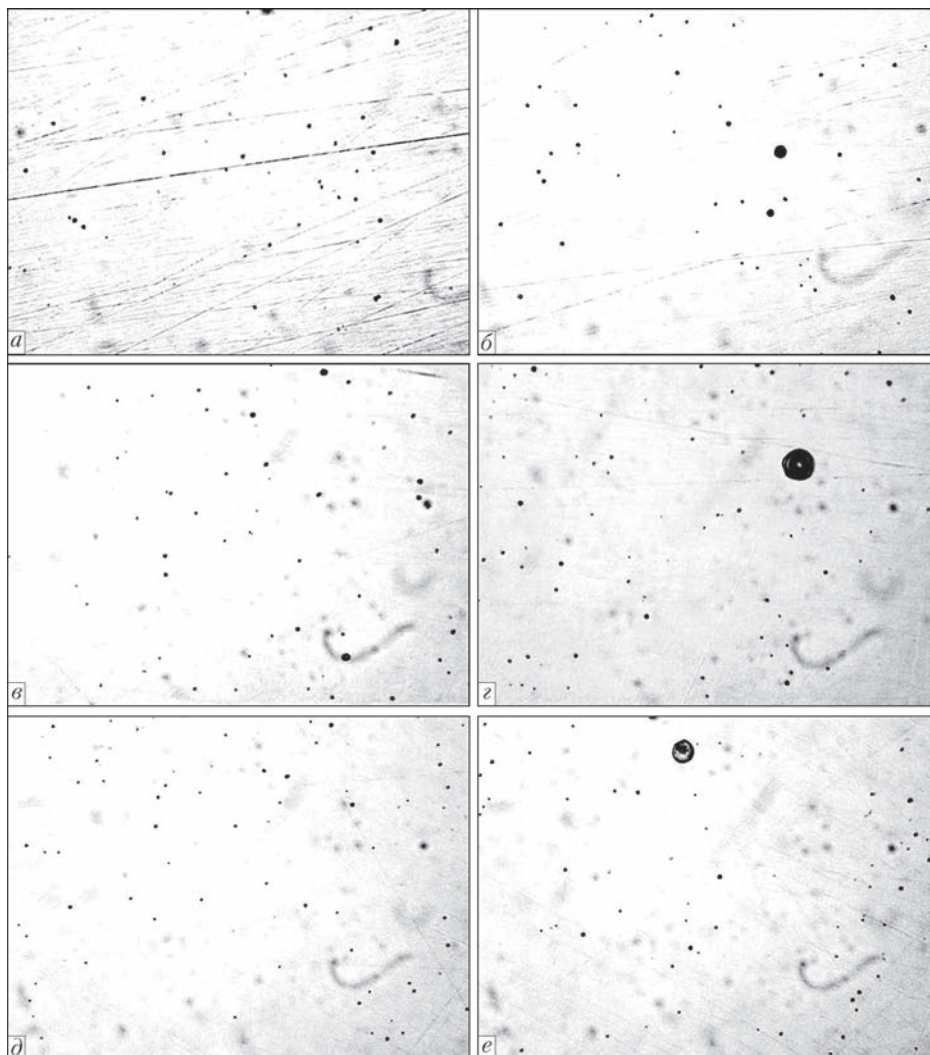


Рис. 2. Микроструктура ($\times 800$) НМВ в металле исследованных швов: а, б — шов № 386; в, г — 400; д, е — 405

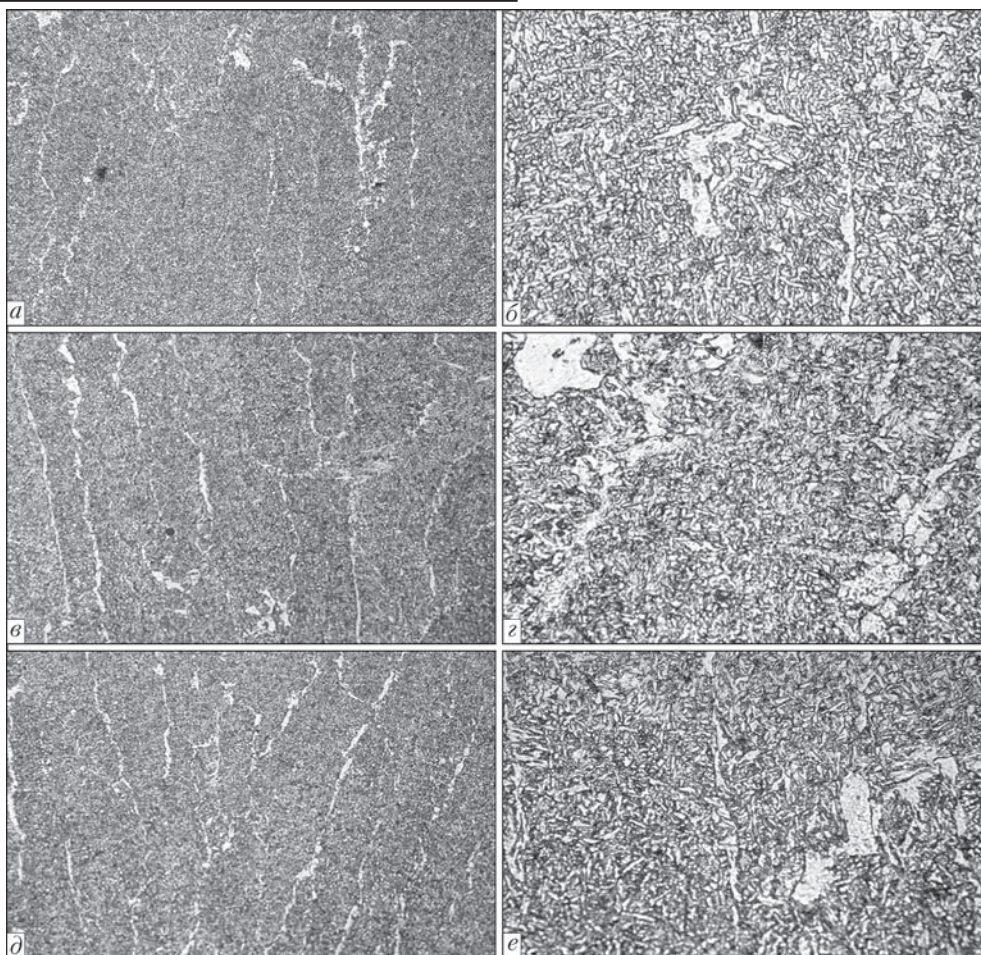


Рис. 3. Микроструктура металла исследованных швов: *a, б* — шов № 368; *в, з* — 400; *д, е* — 405 (*a, в, д* — $\times 100$; *б, з, е* — $\times 500$)

гонального феррита, выделяющегося по границам в виде прослоек шириной от 6 до 16 мкм или цепочек отдельных зерен, не превышает 6 % (рис. 3, *a, б*). Наблюдаются также единичные участки внутризеренного полигонального феррита, в том числе относительно крупные образования массивного феррита с неупорядоченной МАК-фазой (рис. 3, *б*), которая выделяется также по границам наиболее крупных образований зернограничного и внутризеренного полигонального феррита.

В шве № 400, сваренном под регенерированным флюсом по варианту «А», доля зернограничного полигонального феррита увеличивается до 10...12 % (рис. 3, *в*). Увеличиваются также размеры образований внутризеренного массивного полигонального феррита, а ширина прослоек межзеренного полигонального феррита возрастает до 18...20 мкм (рис. 3, *з*), в связи с чем повышается количество скоплений МАК-фазы на их границах.

Микроструктура шва № 405, выполненного под агломерированным флюсом по варианту «В», близка к микроструктуре шва № 386, сваренного под флюсом ОК 10.74. Доля зернограничного полигонального феррита здесь несколько выше и составляет 7...9 %, а ширина его прослоек не превышает 18 мкм (рис. 3, *д, е*). Размеры образований

массивного внутризеренного феррита с выделениями МАК фазы незначительно превышают размеры этой структурной составляющей в шве № 386 (рис. 3, *е*).

Микротвердость исследованных швов №№ 386, 400 и 405 находилась примерно на одном уровне и составляла $HV5$ — 227...230, $HV5$ — 219...221 и $HV5$ — 221...227, соответственно.

Таким образом, металлографическое исследование показало, что применение регенерированного флюса по варианту «А», изготовленного из ШК, по сравнению с оригинальным флюсом приводит к ухудшению структуры шва. В то же время структура шва, полученного при сварке под агломерированным флюсом, изготовленным из ШК флюса ОК 10.74 с дошихтовкой 5 % металлического марганца (вариант «В»), по всем исследованным параметрам близка к структуре шва, сваренного под оригинальным флюсом.

Выводы

Проведено исследование возможности использования ШК, образующейся при многодуговой сварке под агломерированным алюминатно-основным флюсом, для изготовления сварочных флюсов. На

основе ШК флюса ОК 10.74 были изготовлены опытные флюсы по технологии регенерации (дробление ШК с последующим рассевом и магнитной сепарацией) и по технологии агломерирования с дошихтовкой 5 % металлического марганца.

Проведено сравнительное исследование сварочно-технологических свойств оригинального флюса ОК 10.74 и опытных флюсов при одно- и четырехдуговой сварке. Изучены химические составы металла швов, распределение в них неметаллических включений, особенности микроструктуры и определены показатели ударной вязкости металла швов.

Установлено, что флюс, изготовленный по методу агломерации с добавкой в состав шихты 5 мас. % марганца металлического, по всем этим показателям, включая ударную вязкость металла шва, близок к оригинальному флюсу ОК 10.74 и отвечает требованиям к сварным соединениям хладостойких газопроводных труб из сталей категории прочности до Х80 включительно.

Применение флюса, изготовленного из ШК, по технологии регенерации, сопровождается определенным снижением уровня ударной вязкости металла шва и некоторым ухудшением внешнего вида сварного шва по сравнению со сваркой под оригинальным флюсом ОК 10.74. Поэтому решение о возможности использования регенерированного флюса при сварке должно приниматься в ка-

ждом конкретном случае с учетом требований к качеству сварных соединений.

1. *О форме существования водорода в сварочных плавильных флюсах* / И.А. Гончаров, В.С. Токарев, А.П. Пальцевич и др. // Автомат. сварка. – 2001. – № 4. – С. 28–32.
2. *Подгаецкий В.В.* Как использовать шлаковую корку // Там же. – 1961. – № 6. – С. 93–94.
3. *Регенерация* отходов флюса в трубосварочном производстве / В.Н. Колисник, В.И. Галинич, В.Г. Кузьменко и др. // Там же. – 1969. – № 8. – С. 66–67.
4. *Использование* шлаковой корки для выплавки флюса АН-60 / В.И. Галинич, В.Н. Колисник, В.Ю. Котенжи и др. // Там же. – 1964. – № 11. – С. 86–91.
5. *Кузьменко В.Г., Гончаров И.А.* Особенности образования шлаковой корки при дуговой сварке // Там же. – 1997. – № 12. – С. 7–13.
6. *Гончаров И.А., Токарев В.С., Кузьменко В.Г.* Разработка флюса общего назначения на базе шлаковой корки флюса АН-60 // Прогресивна техніка і технологія машинобудування, приладобудування і зварювального виробництва. – Т. IV. – Київ: НТТУ «Київський політехнічний інститут», 1998. – С. 227–231.
7. *Гончаров И.А., Пальцевич А.П., Токарев В.С.* Низководородный сварочный флюс, обеспечивающий повышенную стойкость сварных швов к порообразованию // Сварщик. – 2002. – № 1. – С. 12–13.
8. *Murlin D.* The use of crushed slag as submerged arc welding flux // Welding J. – 2010. – № 8. – P. 41–44.
9. *H.P. Beck, A.R. Jackson.* Recycling SAW slag proves reliable and repeatable // Ibid. – 1996. – № 6. – P. 51–54.
10. *Гончаров И.А., Токарев В.С.* Разработка регенерированного сварочного флюса на основе шлаковой корки флюса ОР-132 // Матеріали міжнарод. науч.-техн. семінара «Современные сварочные флюсы и опыт их применения в промышленности». – Запорожье, 29–31 авг. 2005 г. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2005. – С. 9, 10.

Поступила в редакцию 28.12.2015



Ассоциация «Электрод»

ООО Промышленная
компания «ХОБЭКС электрод»



при поддержке

Российского научно-технического сварочного общества и Общества сварщиков Украины

IX Международная конференция «Дуговая сварка. Материалы и качество»

Посвящается 50-летию Первой всесоюзной конференции

по сварочным материалам (1966 г.)

и 25-летию создания ассоциации «Электрод» (1990 г.).

31 мая – 3 июня 2016 г.

г. Волгоград

Тематика конференции

- Совершенствование дуговых процессов сварки
- Разработка инновационных сварочных материалов
- Технологии производства материалов и подготовка кадров
- Качество и конкурентоспособность материалов

<http://association-electrode.com>; тел./факс: (+38044) 200 63 02.

E-mail: office@association-electrode.com

Информационная поддержка: журнал «Автоматическая сварка»