

Председатель
редакционного совета
и главный редактор
ЛАВРИНЕНКО В.Ю., д.т.н., доц.

Зам. председателя
редакционного совета:
ДЁМИН В.А., д.т.н., проф.
КОЛЕСНИКОВ А.Г., д.т.н., проф.

Зам. главного
редактора
СЕРИКОВА Е.А.

Редакционный совет:
БЛАНТЕР М.С., д.ф.-м.н., проф.
БОГАТОВ А.А., д.т.н., проф.
ГАРИБОВ Г.С., д.т.н., проф.
ГРОМОВ В.Е., д.ф.-м.н., проф.
ГУН И.Г., д.т.н., проф.
ЕВСЮКОВ С.А., д.т.н., проф.
ЕРШОВ М.Ю., д.т.н., проф.
КАСАТКИН Н.И., к.т.н., проф.
КИДАЛОВ Н.А., д.т.н., проф.
КОРОТЧЕНКО А.Ю., к.т.н., доц.
КОТЕНОВ В.И., д.т.н.
КОШЕЛЕВ О.С., д.т.н., проф.
КРУК А.Т., д.т.н., проф.
КУХАРЬ В.Д., д.т.н., проф.
ЛАРИН С.Н., д.т.н., доц.
МОРОЗ Б.С., д.т.н., проф.
МУРАТОВ В.С., д.т.н., проф.
НАЗАРЯН Э.А., д.т.н., проф.
НУРАЛИЕВ Ф.А., к.т.н., доц.
ОВЧИННИКОВ В.В., д.т.н., проф.
ПОВАРОВА К.Б., д.т.н., проф.
ПОЛЕТАЕВ В.А., д.т.н., проф.
СЕМЁНОВ Б.И., д.т.н., проф.
ТРЕГУБОВ В.И., д.т.н., проф.
ШАТУЛЬСКИЙ А.А., д.т.н., проф.
ШЕРКУНОВ В.Г., д.т.н., проф.
ШПУНЬКИН Н.Ф., к.т.н., проф.
ЯМПОЛЬСКИЙ В.М., д.т.н., проф.
БАСТ Ю., Dr.-Ing. habil., prof.
ОЛУНД Э., Dr. Ir.
ТУТМАН Т., Dr. Yur.

Ответственный
за подготовку и выпуск
номера
СЕРИКОВА Е.А.

Журнал зарегистрирован
в Роскомнадзоре.
Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-63952
от 09.12.2015

За содержание рекламных
материалов ответственность
несет рекламодатель

Журнал распространяется
по подписке, которую можно
оформить в любом почтовом
отделении (индекс по каталогу
агентства "Роспечать" 81580,
по Объединенному каталогу
"Пресса России" 39205,
по каталогу "Почта России"
60261) или непосредственно
в издательстве.

Тел.: (499) 268-47-19, 269-54-96
Http: /www.mashin.ru
E-mail: zpm@mashin.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Литейное и сварочное производства

- Шатульский А.А., Зайцев Н.А., Голубенцев А.В. Разработка методики выбора параметров термической обработки рабочих лопаток ГТУ из сплава ЧС88У-ВИ 243
- Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Усольцев А.А. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали на основе техногенных отходов металлургического производства 249

Кузнечно-штамповочное производство

- Грязев М.В., Ларин С.Н., Пасынков А.А. Оценка влияния технологических факторов на предельный коэффициент раздачи трубных заготовок коническим пуансоном ... 255
- Крук А.Т., Соков В.И. Экспериментальная оценка динамичности и определение среднего приведенного коэффициента трения главного исполнительного механизма кривошипного горячештамповочного пресса 260

Прокатно-волочильное производство

- Железков О.С., Мухаметзянов И.Ш., Малаканов С.А., Тюленев Д.Г. Формирование проволоки трапециевидного профиля с использованием плющения и волочения в двухроликковой волоке 267

Материаловедение и новые материалы

- Хайдоров А.Д., Юнусов Ф.А. Технология термической обработки высоколегированных сталей в вакуумных печах 271
- Егоров М.С., Егорова Р.В., Фисунова Е.И., Авакян О.А. Формирование межчастичного срачивания горячедеформированных порошковых сталей, полученных из легированных порошков 277

Информация

- Солдатов В.Г., Жижкина Н.А., Вавилин Я.А. Процессный подход к формированию показателей качества литейной продукции 282

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней, в базу данных Chemical Abstracts

Журнал выходит при содействии:

Академии проблем качества Российской Федерации; Министерства образования и науки Российской Федерации; Воронежского завода тяжелых механических прессов; ЦНИИЧермета; ВНИИМЕТМАШ; ИМЕТ РАН;
ООО "МЕТАЛЛИТМАШ"; АО "НПО "Сплав"

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале "Заготовительные производства в машиностроении", допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, Н.Е. Крюков*, И.Н. Ковальский*, А.А. Усольцев
(Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк,
АО "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова")

Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали на основе техногенных отходов металлургического производства

Приведены результаты разработки новых сварочных флюсов и флюс-добавок, разработанных на основе техногенных отходов металлургического производства: шлака силикомарганца и пыли газоочистки алюминиевого производства. Рассмотрены разработанные технологии использования шлака производства силикомарганца различной фракции в качестве сварочных флюсов.

Ключевые слова: сварка; наплавка; флюс; металл; шлак; флюсовая добавка; механические свойства; макроструктура; микроструктура.

Results of development of the new welding fluxes and flux-additives developed on the basis of technogenic wastes of metallurgical production: slag of silicomanganese and dust of gas purification of aluminum production are presented. Developed technologies of use of slag of silicomanganese production of various fraction as welding fluxes are considered.

Keywords: welding; surfacing; flux; metal; slag; flux additive; mechanical properties; macrostructure; microstructure.

Большинство отечественных флюсов, применяемых для сварки низколегированных сталей, являются окислительными. При сварке и наплавке стали в результате протекания кремне-марганцево-окислительно-восстановительных процессов образуются оксидные соединения кремния, марганца, железа, алюминия и других элементов, которые в процессе сварки чаще всего не успевают всплыть и ассимилироваться образующимся из сварочного флюса шлаком, что и приводит к увеличению загрязненности металла сварного шва неметаллическими включениями и, как следствие, к снижению комплекса физико-механических свойств.

Для исключения загрязнения металла шва целесообразно использование восстановителей, образующих газообразные продукты реакции. Таким восстановителем может быть углерод, образующий при взаимодействии с окислителями газообразные соединения CO_2 и CO .

В настоящее время защита сварного шва газами CO_2 (CO) осуществляется оттеснением атмосферных газов из области сварки, а не за счет реакции раскисления углеродом системы металл—шлак. Обычно для этого исполь-

зуют карбонаты типа CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3 , Na_2CO_3 , MnCO_3 .

Без учета затрат на разложение карбонатов наиболее оптимальным является применение во флюсах MgCO_3 и CaCO_3 как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество CO_2 при разложении 1 кг материала и образующих основные оксиды CaO и MgO , которые участвуют в повышении основности сварочного флюса и образующегося шлака. Этими предпосылками и обусловлено использование карбонатов в ряде разработанных в нашей стране флюсов и флюс-добавок.

К таким добавкам относится флюс-добавка АНК, внедренная в производство в АО "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова" (АО "НЗРМК" им. Н.Е. Крюкова) [1]. При ее изготовлении используют ферросилиций ФС75 по ГОСТ 1415—93, мрамор М92—М97 по ГОСТ 4416—94 (92...97 % CaCO_3) и жидкое стекло по ГОСТ 13078—81. Добавку АНК применяют в технологии сварки резервуаров методом рулонирования. Использование этой добавки исключило порообразование и позволило повысить качественные характеристики сварных швов.

Удаление водорода из металла сварного шва при использовании сварки под флюсом осуществляется введением во флюс фторсодержащих добавок (обычно флюорита или криолита), позволяющих в результате связывания водорода с фтором проводить удаление водорода в виде соединения HF.

Термодинамическая оценка [2] вероятности протекания процессов удаления водорода из сварного шва при сварке под фторсодержащим флюсом в стандартных состояниях в интервале температур 1700...2200 К позволила разработать технологию сварки под флюсом с использованием углеродфторсодержащей добавки.

За основу углеродфторсодержащей добавки были взяты отходы металлургического производства в виде пыли следующего химического состава, % мас.: 21...46,23 Al_2O_3 ; 18...27 F; 8...15 Na_2O ; 0,4...6 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...0,9 MnO; 0,06...0,9 MgO; 0,09...0,19 S; 0,1...0,18 P.

Проведены исследования влияния введения углеродфторсодержащей добавки во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и импортный флюс ОК.10.71 на процесс рафинирования металла сварного шва [3, 4]. Установлено, что с увеличением содержания углеродфторсодержащей добавки и жидкого стекла в качестве связу-

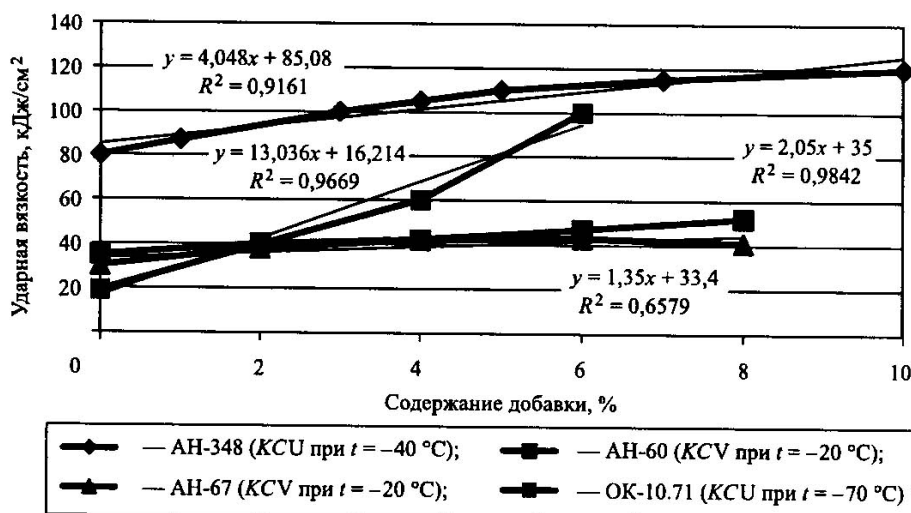


Рис. 2. Изменение ударной вязкости в зависимости от содержания углеродфторсодержащей добавки

ющего, во флюсы АН-348, АН-60, АН-67 и импортный флюс ОК.10.71 снижается общий кислород в сварном шве (рис. 1), а также значительно повышаются механические свойства и особенно ударная вязкость при отрицательных температурах (рис. 2).

Теоретические предпосылки, лабораторные исследования и промышленные опыты позволили разработать технологии использования сварочных флюсов с углеродфторсодержащей добавкой при сварке металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях экстремально низких температур. Изготовление флюс-добавки ФД-УФС по ТУ 5929-007-01395874—2015 организовано в АО "НЗРМК им. Н.Е. Крюкова". Разработанные технологии сварки металлоконструкций с применением флюс-добавки защищены патентами РФ [5, 6].

Для изготовления сварочных флюсов предложено использование шлака производства силикомарганца [7] следующего химического состава, % мас.: 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...7,924 MgO; 8,01...8,43 MnO; 0,28...0,76 F; 0,26...0,36 Na_2O ; $\leq 0,62$ K_2O ; 0,15...0,17 S; $\leq 0,01$ P. В первой серии опытов исследовали возможность использования различного соотношения шлаковых фракций.

Сварку под флюсами проводили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размерами 500×75 мм, толщиной 16 мм

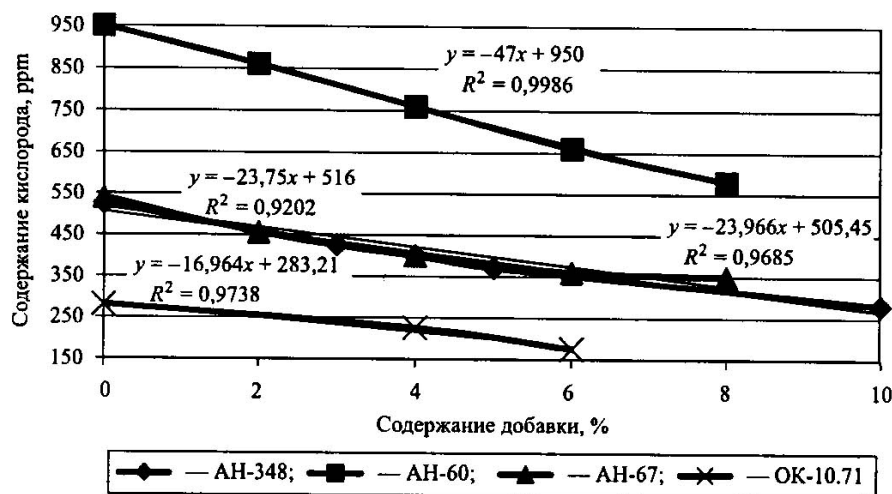


Рис. 1. Изменение содержания общего кислорода во флюсах в зависимости от содержания углеродфторсодержащей добавки

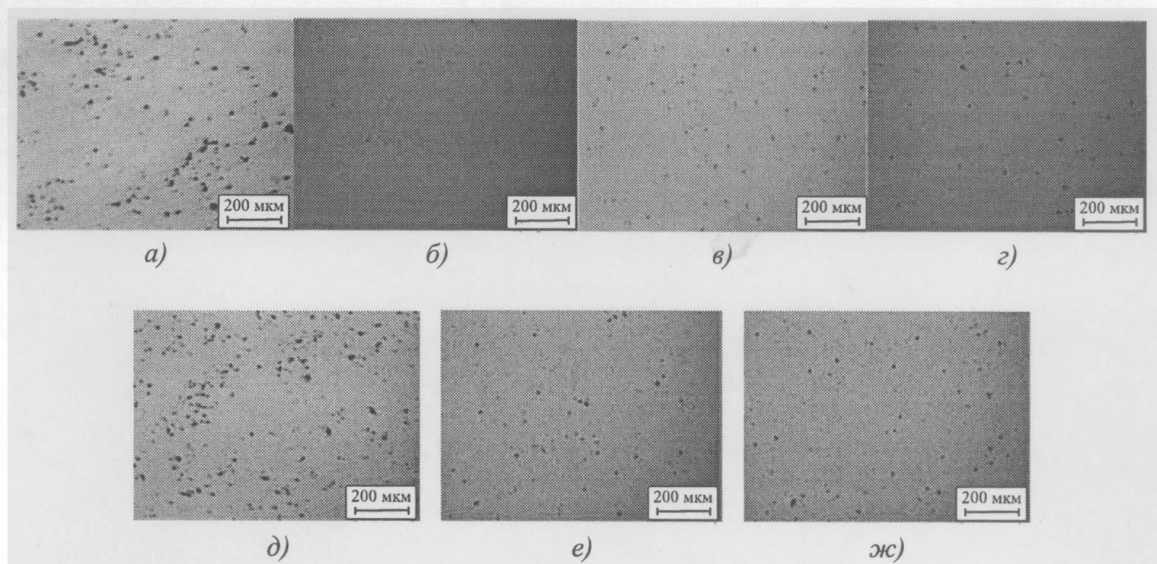


Рис. 3. Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов:

а — № 1; б — № 2; в — № 3; г — № 4; д — № 5; е — № 6; ж — № 7

из листовой стали 09Г2С. Процесс осуществляли проволокой Св-08ГА с применением сварочного трактора АСАВ-1250 по режиму: $I_{св} = 700$ А; $U_d = 30$ В; $v_{св} = 35$ м/ч.

Из сваренных пластин вырезали образцы и выполняли рентгеноспектральный анализ состава металла швов и металлографические исследования металла сварных швов.

Металлографические исследования проводили на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 при увеличении 100. Результаты анализа на наличие неметаллических включений

в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778—70, приведены на рис. 3 и в табл. 1.

Металлографические исследования структуры металла в зоне сварных швов проводили с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений 500 после травления поверхности образцов в 4%-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639—82. Микроструктуры металла сварных швов приведены на рис. 4.

Анализ результатов механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин,

1. Химический состав металла сварных швов, % мас.

Номер образца	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Nb	Al	S	P
1	0,09	0,71	0,51	0,03	0,10	0,11	0,001	0,014	0,023	0,018	0,012
2	0,08	0,54	1,33	0,04	0,05	0,08	0,003	0,014	0,015	0,008	0,008
3	0,09	0,61	1,49	0,04	0,11	0,11	0,01	0,013	0,018	0,016	0,010
4	0,07	0,45	1,24	0,02	0,05	0,07	0,002	0,014	0,014	0,006	0,007
5	0,08	0,66	1,42	0,03	0,10	0,11	0,002	0,015	0,023	0,018	0,012
6	0,08	0,61	1,42	0,02	0,06	0,08	0,003	0,014	0,029	0,010	0,011
7	0,08	0,59	1,39	0,02	0,02	0,05	0,004	0,018	0,091	0,014	0,009
8	0,05	0,52	1,25	0,02	0,04	0,05	0,003	0,017	0,020	0,005	0,007
9	0,03	0,51	1,23	0,02	0,04	0,06	0,002	0,017	0,017	0,007	0,008
10	0,06	0,53	1,31	0,02	0,04	0,06	0,004	0,016	0,018	0,012	0,009
11	0,09	0,52	1,31	0,02	0,04	0,06	0,003	0,015	0,013	0,010	0,008

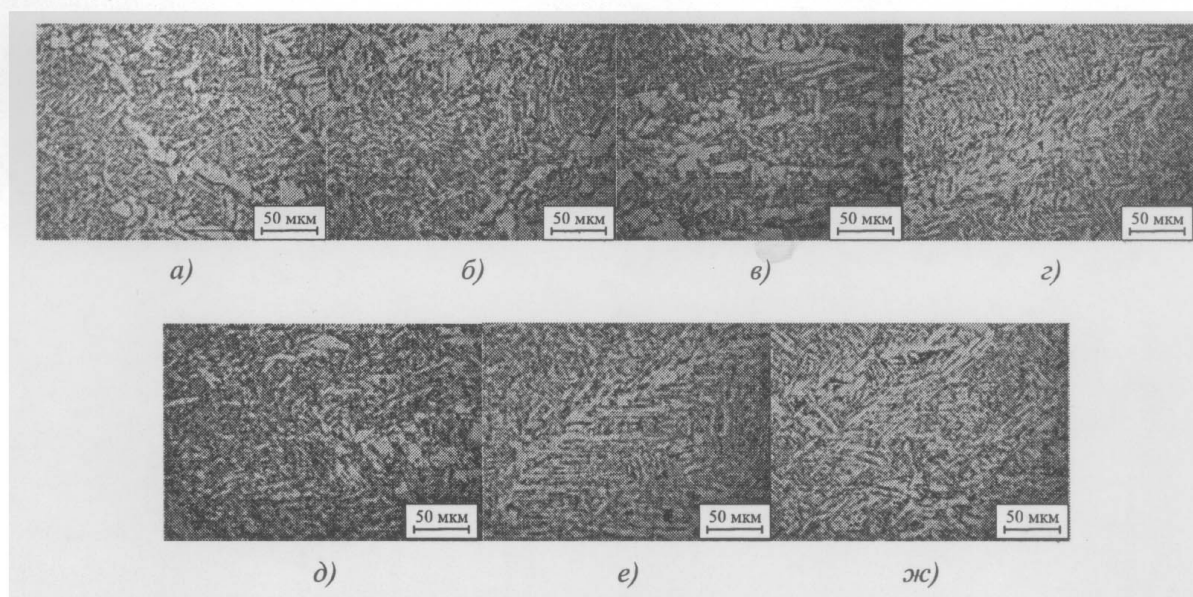


Рис. 4. Микроструктуры сварных швов образцов:

а — № 1; *б* — № 2; *в* — № 3; *г* — № 4; *д* — № 5; *е* — № 6; *ж* — № 7

позволил установить, что оптимальным содержанием пылевидной фракции менее 0,45 мм во флюсе является концентрация до 30 %. При таком содержании пылевидной фракции во флюсе достигается благоприятный комплекс механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин.

В структуре металла сварного шва всех проб феррит присутствует в виде неравноосных зерен, вытянутых в направлении отвода тепла. Заметен переход от равномерной феррито-перлитной структуры к структуре перлита и

феррита видманштеттовой направленности. При этом в образцах не наблюдалось значительного изменения величины зерна по шкале зернистости (табл. 2 и 3).

Во второй серии опытов изучали возможность использования керамического флюса, изготовленного из пыли силикомарганцевого шлака фракцией до 0,45 мм, связанного жидким стеклом. Технология изготовления заключалась в смешении шлака силикомарганца с жидким стеклом в различных соотношениях, сушке, дроблении, рассеве и получении фракции 0,45...2,5 мм.

2. Неметаллические включения в зоне сварных швов

Номер образца	Неметаллические включения, балл		
	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Оксиды точечные
1	4б; 3б; 4а	3б	1а
2	2б; 1б; 3а; 4а		1а; 2а
3	4б; 2б		1а; 2а
4	2б; 4б		1а; 2а
5	4б; 5б; 3б		1а; 2а
6	2б; 1б; 2а; 2,5а		1а; 2а
7	2б; 2а; 2,5а		1а; 2а
8	2б; 1б; 2а; 2,5а		1а
9	2б; 1б; 2а; 2,5а		1а
10	2б; 1б; 2а; 2,5а		1а; 2а
11	2б; 2,5а		1а; 2а

3. Величина зерна сварных швов по ГОСТ 5639—82

Номер образца	Номер зерна
1	4, 5
2	5, 4
3	4, 5, 6
4	4
5	5, 4
6	4
7	4
8	5, 4
9	4, 5
10	4
11	4, 5

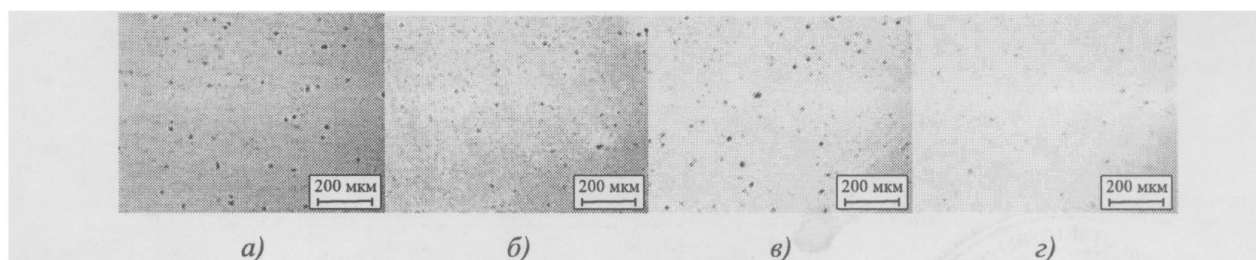


Рис. 5. Неметаллические включения в зоне сварного шва образцов, полученных при использовании флюс-добавки ФД-УФС, %:

а — 2; б — 4; в — 6; з — 8

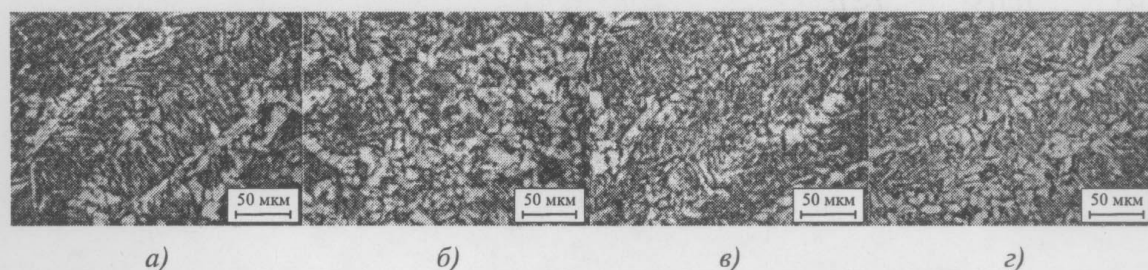


Рис. 6. Микроструктура сварных швов образцов, полученных при использовании флюс-добавки ФД-УФС, %:

а — 2; б — 4; в — 6; з — 8

4. Неметаллические включения в зоне сварных швов при использовании ФД-УФС

Содержание ФД-УФС во флюсе, %	Неметаллические включения, балл		
	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Оксиды точечные
2	2б; 4б; 5а	—	1а; 2а
4	2б; 4б		1а; 2а
6	2б; 4б; 1б		1а; 2а
8	2б		1а; 2а

Анализ результатов механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин, позволил установить оптимальное содержание жидкого стекла во флюсе (до 20...30 %) для достижения благоприятного комплекса механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин.

Для снижения загрязнения металла шва и повышения механических свойств рассмотрена возможность введения добавки ФД-УФС в новый флюс в количестве 2; 4; 6 и 8 %. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778—70, приведены на рис. 5 и в табл. 4.

Максимальный уровень загрязненности неметаллическими включениями наблюда-

ется в металле сварного шва, выполненным под флюсом без добавки. Введение добавки ФД-УФС снижает уровень загрязненности неметаллическими включениями, уменьшая их размер и количество. Наибольшее снижение уровня загрязненности неметаллическими включениями получено при использовании добавки в количестве 8 %.

Микроструктура сварного шва образцов приведена на рис. 6. Установлено, что введение до 8 % ФД-УФС не оказывает влияния на размер и морфологию структурных составляющих. Уровень механических свойств повышается с увеличением содержания добавки ФД-УФС (рис. 7). Проведенные исследования легли в основу патентов РФ [8, 9].

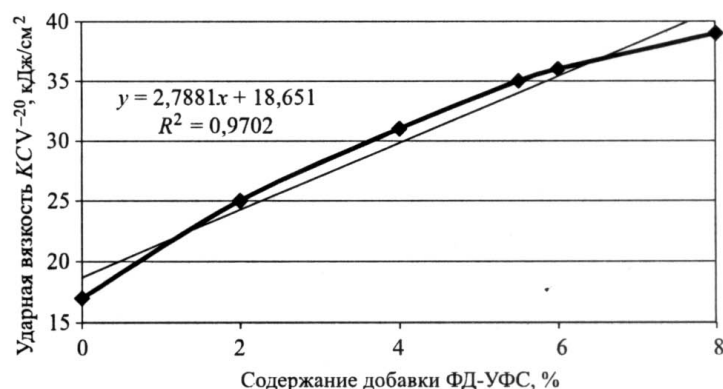


Рис. 7. Влияние содержания добавки ФД-УФС во флюсе на ударную вязкость KCV при температуре -20 °C

Выводы

1. Разработаны и внедрены в производство технологии использования новых карбонатных и углеродсодержащих добавок для сварочных флюсов, позволяющих значительно снизить уровень загрязненности стали оксидными неметаллическими включениями, уменьшить газонасыщенность сварного шва, повысить спектр требуемых механических свойств. Технологии применяют для сварки нефтеналивных резервуаров, эксплуатируемых в условиях отрицательных температур. Организовано производство защищенной патентом РФ флюс-добавки ФД-УФС.

2. Показана принципиальная возможность использования шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. Возможно применение во флюсах до 30 % мелкой фракции (менее 0,45 мм). При таком содержании пылевидной фракции во флюсе достигается благоприятный комплекс механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин.

3. Предложено получать требуемую фракцию шлака за счет использования в качестве связующего жидкого стекла. Оптимальное содержание жидкого стекла во флюсе составляет 20...30 %.

4. Для снижения уровня загрязненности металла сварного шва оксидными неметаллическими включениями и повышения механических свойств сварного шва предложено вводить во флюсы на основе шлака производства силикомарганца углеродфторсодержащую добавку ФД-УФС в количестве 2...8 %. Введение добавки ФД-УФС снижает уровень загрязненности неметаллическими включениями, уменьшая их размер и количество.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. 2467853 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. 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". № 201112341602/02(034654); заявл. 08.06.2011.

2. Термодинамические аспекты удаления водорода при сварке под углеродфторсодержащими флюсами / Р.Е. Крюков, Ю.В. Бендре, Г.В. Галевский, Н.А. Козырев, В.Ф. Горюшкин // Известия вузов. Черная металлургия. 2016. Том 59. № 2. С. 99—104.

3. Влияние углеродфторсодержащих добавок для сварочных флюсов на свойства сварных швов / Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, С.Н. Старовацкая, Р.Е. Крюков, З.В. Голдун // Известия вузов. Черная металлургия. 2012. № 6. С. 26—29.

4. Разработка добавок для сварочных флюсов при сварке низколегированных сталей / Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, А.В. Роор, И.Н. Ковальский // Сварочное производство. 2013. № 5. С. 9—12.

5. Пат. 2484936 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Керамический флюс-добавка / Н.А. Козырев, В.Ф. Игушев, Р.Е. Крюков, З.В. Голдун; ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет. № 2012104939/02(007484); заявл. 13.02.2012.

6. Пат. 2564801 РФ, МПК⁸ В23 К35/36. Флюс-добавка / Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков; ОАО "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова". № 2013144914/02(069340); заявл. 07.10.2013.

7. Production of Welding Fluxes Using Waste Slag Formed in Silicomanganese Smelting / N.A. Kozыrev, R.E. Kryukov, O.E. Kozыreva, U.I. Lipatova, A.V. Filonov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment: Current Problems and Solutions 26—28 November 2015, Yurga, Russia. 2016. Vol. 125. P. 1—6.

8. Пат. 2576717 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Флюс для сварки / Н.Е. Крюков, Е.Н. Крюков, Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, О.А. Козырева; ОАО "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова". № 2014122996/02(037469); заявл. 05.06.2014; опублик. 10.03.2016, Бюл. № 7.

9. Пат. 2579412 РФ, МПК⁸ В23 К35/362. Флюс для сварки / Н.Е. Крюков, Е.Н. Крюков, Н.А. Козырев, Р.Е. Крюков, О.А. Козырева; ОАО "Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций им. Н.Е. Крюкова". № 2014123002/02(037475); заявл. 05.06.2014; опублик. 10.04.2016, Бюл. № 10.

Николай Анатольевич Козырев, д-р техн. наук,
Kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru;

Роман Евгеньевич Крюков, канд. техн. наук;

Николай Егорович Крюков;

Игорь Николаевич Ковальский;

Александр Александрович Усольцев, канд. техн. наук