

РОССИЯ

ISSN 0491-6441

Сварочное производство

2017 № 6



УЧРЕДИТЕЛЬ:

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства образования и науки РФ,
Министерства промышленности и торговли РФ,
Российской инженерной академии,
Союза машиностроителей России,
Российского научно-технического сварочного общества

Редакционная коллегия:

Гл. редактор В. А. Казаков

В. К. Драгунов	А. И. Рымкевич
А. В. Казаков	Ю. Н. Сараев
О. Е. Капустин	О. Н. Севрюков
Е. А. Калашников	З. А. Сидлин
В. И. Кулик	В. А. Судник
В. И. Лукин	В. А. Фролов
А. В. Люшинский	В. А. Хаванов
В. П. Лялякин	Г. Л. Хачатрян
Г. А. Меньшиков	О. А. Цукуров
В. Н. Панин	И. Н. Шиганов
И. Н. Пашков	М. М. Штрикман
В. В. Пешков	

Ответственный редактор Т. В. Ауллова
Электронная верстка: ИП О. В. Прохоров
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов
Редактор-обозреватель Ан. А. Суслов
Редактор-переводчик Г. С. Потапова

Адрес редакции:

Москва,
ул. Большая Новодмитровская, 23.

Для корреспонденции:

127015, Москва, а/я 65.

Издательский центр

"Технология машиностроения".

Телефоны:

гл. редактор — (495) 796 2491;

редакция — (495) 640 7903.

E-mail: svarka@ic-tm.ru

Http://www.ic-tm.ru

Журнал "Сварочное производство" переводится
на английский язык издательством
"Taylor & Francis" (Великобритания).

Перепечатка материалов из журнала "Сварочное
производство" категорически запрещена
без оформления договора в соответствии
с действующим законодательством РФ.

При перепечатке материалов ссылка на журнал
"Сварочное производство" обязательна.

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по
делам печати, телерадиовещания и средств массо-
вых коммуникаций. Свидетельство о регистрации
ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ
изданий для публикации трудов соискателей ученых
степеней.

Журнал входит в систему цитирования РФ РИНЦ,
международную систему "Scopus" и международную
базу данных "Chemical Abstracts"

Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Волкова Е. Ф., Дуюнова В. А., Иода Е. Н., Пантелеев М. Д. — Особенности свариваемости нового деформируемого магниевого сплава ВМД16 _____ 3
- Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Усольцев А. А., Липатова У. И. — Использование барий-стронциевого карбоната при сварке под флюсом _____ 11
- Ерофеев В. А., Пьянков И. Б. — Анализ эффективности импульсного предварительного подогрева при контактной стыковой сварке оплавлением _____ 17
- Лукин В. И., Саморуков М. Л. — Особенности формирования структуры сварных соединений жаропрочного деформируемого сплава ВЖ 175, полученных ротационной сваркой трением _____ 25

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Кимельблат В. И., Волков И. В. — Сварка полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык _____ 34
- Немтинов В. А., Сергеев В. С. — Соединение тонкостенных деталей из армлена сваркой трением _____ 39
- Лукин В. И., Ерасов В. С., Пантелеев М. Д., Автаев В. В., Саморуков М. Л., Кулик В. И. — Освоение сварки трением с перемешиванием применительно к конструкции крыла самолета _____ 44
- Лоза А. В., Чигарев В. В., Серенко А. Н. — Повышение эксплуатационной стойкости чаши шлаковоза при создании лито-сварной конструкции _____ 48
- Петров С. Ю. — Анализ терминов и определений, используемых в ГОСТах по сварке. Термин — место сварки и его составные части _____ 53

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Фролов В. А., Путятин Л. М., Власенко А. Н. — Система оценки уровня развития сварочного производства на современных предприятиях _____ 56



FOUNDER:

Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"

Published since January 1930

*Journal is published in collaboration with RF Ministry of Education and Science,
RF Ministry of Industry and Trade,
Russian Engineering Academy,
The Union of Machine Engineers of Russia,
Russian Scientific-Technical Welding Society*

Editorial board:

V. A. Kazakov Editor-in-Chief

V. K. Dragunov	A. I. Rymkevich
A. V. Kazakov	Yu. N. Saraev
O. E. Kapustin	O. N. Sevryukov
E. A. Kalashnikov	Z. A. Sidlin
V. I. Kulik	V. A. Sudnik
V. I. Lukin	V. A. Frolov
A. V. Lyushinsky	V. A. Khavanov
V. P. Lyalyakin	G. L. Khachatryan
G. A. Menshikov	O. A. Tsukurov
V. N. Panin	I. N. Shiganov
I. N. Pashkov	M. M. Shtrikman
V. V. Peshkov	

Executive editor *T. V. Aulova*
Electron galley: *PE O. V. Prokhorov*
Cover design: *E. S. Blagovidov*
Editor-reviewer *An. A. Suslov*
Editor-translator *G. S. Potapova*

Address of the editorial office:
B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow.

For correspondence:

Publishing Centre
"Tekhnologiya Mashinostroeniya"
P.O.B.65, Moscow, 127015, Russia.
Phones:
(495) 796 2491 — Editor-in-Chief;
(495) 640 7903 — Editorial office.
E-mail: svarka@ic-tm.ru
[Http://www.ic-tm.ru](http://www.ic-tm.ru)

The "Svarochnoe Proizvodstvo" journal is being translated into English by the publishing house "Taylor & Francis" (Great Britain).

No part of the material published therein in the "Svarochnoe Proizvodstvo" Journal may be reprinted without the prior conclusion of an agreement under the existing legislation RF. Reference to "Svarochnoe Proizvodstvo" at reprint is obligatory.

The journal is registered by RF Ministry of Press, Tele-and-Broadcasting and Mass Communications Media. Registration certificate ПИ N 77-7778.

Journal is included into the list of editions certified by RF Supreme Attestation Committee for publication of competitors works for scientific degrees.

The journal is included into the system of quotation of the Russian Federation RINC, international system "Scopus" and international database "Chemical Abstracts".

CONTENTS

SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

Volkova E. F., Duyunova V. A., Ioda E. N., Panteleev M. D. — Features of the weldability atw deformable magnesium alloy VMD16	3
Kozyrev N. A., Kryukov R. E., Usoltsev A. A., Lipatova U. I. — Use of barium-strontium carbonatite at submerged arc welding	11
Erofeev V. A., Pyankov I. B. — The efficiency analysis of pulsed preheat at flash butt resistance welding	17
Lukin V. I., Samorukov M. L. — Features of the welded joints structure formation of heat-resistant deformable alloy VZh175, obtained by rotational friction welding	25

PRODUCTION SECTION

Kimelblat V. I., Volkov I. V. — Butt welding of polyethylene pipes by using a heated tool	34
Nemtinov V. A., Sergeev V. S. — Connection of thin-walled armelin parts by using friction welding	39
Lukin V. I., Erasov V. S., Panteleev M. D., Avtaev V. V., Samorukov M. L., Kulik V. I. — Uptake friction welding with mixing as applied to the design of the aircraft wing	44
Loza A. V., Chigarev V. V., Serenko A. N. — Increasing the operational stability of the slag bowl when creating a three-bed structure	48

Petrov S. Yu. — Analysis of terms and definitions used in GOSTs for welding. The term — the place of welding and its components	53
--	----

ECONOMIC AND PRODUCTION ORGANIZATION

Frolov V. A., Putyatina L. M., Masenko A. N. — The evaluation system of the welding production development level on the enterprises	56
--	----

11. Каблов Е. Н. Конструкционные и функциональные материалы — основа экономического и научно-технического развития России // Вопросы материаловедения. 2006. № 1. С. 64—67.

12. Volkova E. F. "Some Regular Features of Formation of Phase Composition in a Magnesium Alloy of the Mg—Zn—Zr—Y System" // Metal Science and Heat Treatment, 2014. N. 1. P. 477—482.

13. Woo W., Feng Z., Wang X.-L., David S. A. Neutron diffraction measurements of residual stresses in friction stir welding: a review // Sci. Tech. Welding and Joining. 2011. N. 16 (1). P. 23—32.

14. Woo W., Choo H., Prime M. B., Clausen B., Feng Z. Microstructure, texture, and residual stress in a friction stir processed AZ31B Mg alloy // Acta Materialia. 2008. N. 56. P. 1701—1711.

15. Лукин В. И., Иода Е. Н., Пантелеев М. Д., Скупов А. А., Овчинников В. В. Сварка трением с перемешиванием высокопрочных алюминий-литиевых сплавов В-1461, В-1469 // Сварочное производство. 2015. № 7. С. 21—25.

16. Лукин В. И., Оспенникова О. Г., Иода Е. Н., Пантелеев М. Д. Сварка алюминиевых сплавов в авиакосмической промышленности // Сварка и диагностика. 2013. № 2. С. 47—52.

17. Чабина Е. Б., Алексеев А. А., Филонова Е. В., Лукина Е. А. Применение методов аналитической микроскопии и рентгеноструктурного анализа для исследования структурно-фазового состояния материалов // Труды ВИАМ. 2013. № 5. Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения 02.02.2016 г.).

18. Volkova E. F. Microstructural & mechanical characterization of magnesium base alloy MA14 (ZK60 A) under deformation & heat treatment' / In Proceedings of the 2014 International Conference on High Performance and Optimum Design of Structures and Materials. edited by WIT press, 2014. P. 17—25.

19. Волкова Е. Ф., Антипов В. В., Морозова Г. И. Особенности формирования структуры и фазового состава деформированных полуфабрикатов серийного сплава MA14 // Авиационные материалы и технологии. 2011. № 3. С. 8—15.

20. Волкова Е. Ф., Лукин В. И., Добрынина И. С. Исследование свариваемости гранулированных сплавов на основе магния // Сварочное производство. 1998. № 9. С. 9—11.

21. Рязанцев В. И., Федосеев В. А. О рациональном выборе полуфабрикатов из алюминиевых и магниевых сплавов для сварных конструкций // Сварочное производство. 2000. № 6. С. 29—35.

УДК 621.791:624

Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук, А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, У. И. ЛИПАТОВА, магистрант ФГБОУ ВПО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк
E-mail: kozyrev_na@mtsp.sibsiu.ru

Использование барий-стронциевого карбоната при сварке под флюсом

Показана принципиальная возможность применения барийстронциевого карбоната в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

Использование барийстронциевого карбоната позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями: силикатами недеформируемыми, оксидами точечными и силикатами хрупкими, а также повысить десульфуризирующую способность сварочных флюсов.

Введение барийстронциевого карбоната во флюс на основе шлака силикомарганца в количестве до 5 % обеспечивает феррито-перлитную структуру металла сварного шва видманштеттовой направленности, при этом незначительно снижается величина зерна.

Ударная вязкость и предел текучести образцов повышаются при введении в состав флюса барийстронциевого карбоната, а пластические свойства и временное сопротивление разрыву образцов понижаются.

The basic possibility of application of a bariystrontsiyevy karbonatit as the refining and gas-protective additive for welding gumboils is shown.

Use of a bariystrontsiyevy karbonatit allows to reduce impurity of a welded seam nonmetallic inclusions: the silicates which aren't deformed oxides dot and silicates fragile and also to increase the desulphurizing ability of welding gumboils.

Introduction of a bariystrontsiyevy karbonatit to gumboil on the basis of samples of bismaragants in quantity to 5 % provides ferrito-perlitny structure of metal of a welded seam of a bismaragantovy orientation, at the same time grain size slightly decreases.

Impact strength and limit of fluidity of samples increase at introduction to structure of gumboil of a bariystrontsiyevy karbonatit, and plastic properties and temporary resistance to a fracture of samples go down.

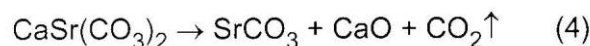
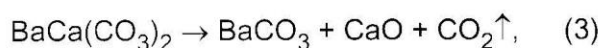
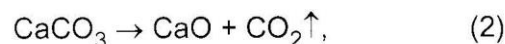
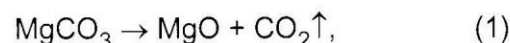
Ключевые слова: сварка, флюсы, технология, сварной шов, барий-стронциевый карбонатит, образцы, неметаллические включения, микроструктура, величина зерна, механические свойства

Key words: welding, fluxes, technology, welding joint, barium-strontium carbonatite, samples, nonmetallic inclusions, microstructure, grain size, mechanical properties

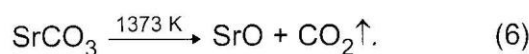
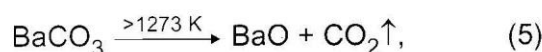
Вопросам разработки новых составов флюсов и использованию относительно недорогих природных материалов в виде добавок в сварочные флюсы, позволяющих целенаправленно управлять физико-химическим состоянием металлического расплава с целью повышения качественных показателей сварного шва, уделяется большое внимание, как в РФ, так и за рубежом [1—12]. При этом в металлургии одним из перспективных направлений является разработка технологий, позволяющих проводить модифицирование и рафинирование стали барием и стронцием из оксидных материалов, минуя стадии производства лигатур [13—15]. В качестве материала для таких технологий наиболее перспективным является месторождение комплексных карбонатных руд, содержащих кальций, барий и стронций, на северо-востоке Иркутской области. Руды имеют следующий минеральный состав: 70—80 % стронций-кальций-бариевого карбоната, 10 % калиевого полевого шпата, 10—20 % пироксена. Выпуск барий-стронциевого модификатора БСК-2 по ТУ 1717-001-75073896—2005 освоен ООО "НПК Металлтехнопром". Модификатор предназначен для производства стали, чугуна и цветных сплавов, а также для покрытий сварочных электродов [16—19]. Барий-стронциевый модификатор содержит 13,0—19,0 % BaO, 3,5—7,5 % SrO, 17,5—25,5 % CaO, 19,8—29,8 % SiO₂, 0,7—1,1 % MgO, 2,5—3,5 % K₂O, 1,0—2,0 % Na₂O, 1,5—6,5 % Fe₂O₃, 0—0,4 % MnO, 1,9—3,9 % Al₂O₃, 0,7—1,1 % TiO₂, 16,0—20,0 % CO₂.

Результаты рентгенофазового анализа [19] показали, что основными соединения-

ми, входящими в состав барийстронциевого модификатора, являются баритокальцит BaCa(CO₃)₂, кальцит CaCO₃, кальциостронцианит CaSr(CO₃)₂, доломит MgCO₃ и сидерит FeCO₃. При этом проведенный дифференциально-термический анализ определил, что до температуры 1223 К происходит диссоциация доломита, кальцита, баритокальцита и кальциостронцианита. Это означает, что при температурах сварочных процессов (1873—1923 К) возможно использование данного материала с разложением карбонатных составляющих при температуре 1273 К по реакциям [13]:



с последующей диссоциацией карбонатов бария и стронция по реакциям:



В работах [20,21] для определения условий восстановления бария и стронция из оксидов использовались методы термодинамического моделирования, реализованные в программном комплексе "Терра".

При исследовании кинетики разложения баритокальцита и кальциостронцианита в работах [22, 23] полагается, что процесс протекает в две стадии, в результате которых образуются CaO, BaO, SrO и выделяется уг-

лекистый газ (CO_2). Выделение CO_2 при диссоциации карбонатов бария и стронция создает защитную атмосферу для свариваемых изделий, тем самым защищает расплавленный металл от окисления и способствует повышению качества сварного шва. При этом защита осуществляется вследствие высокотемпературного разложения карбонатов с образованием CO_2 . Расчеты [24, 25] показывают, что при разложении 1 кг CaCO_3 (н.у.) образуется $0,224 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, 1 кг MgCO_3 — $0,267 \text{ м}^3$, 1 кг FeCO_3 — $0,192 \text{ м}^3$, 1 кг MnCO_3 — $0,194 \text{ м}^3$, 1 кг Na_2CO_3 — $0,211 \text{ м}^3$. Соответственно, при разложении 1 кг BaCO_3 (н.у.) образуется $0,114 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$, 1 кг SrCO_3 — $0,152 \text{ м}^3 \text{ CO}_2$. При нагревании до температуры сварочных процессов 1800°C (2073 K) происходит расширение газа в 7,6 раза. По-видимому, без учета затрат на разложение карбонатов наиболее оптимальным является использование MgCO_3 , CaCO_3 , $\text{BaCa}(\text{CO}_3)_2$ и $\text{CaSr}(\text{CO}_3)_2$ как компонентов, позволяющих получать наибольшее количество CO_2 при разложении 1 кг материала.

Диссоциация карбонатов, содержащихся в барийстронциевом карбонатите (MgO , CaO , BaO , SrO), повышает основность шлака и, по-видимому, способствует рафинированию металла сварного шва от неметаллических включений. Считается, что помимо вышеизложенного, барий и стронций, являясь модификаторами, оказывают влияние на металлическую структуру сварного шва [19].

В работе [26] показана принципиальная возможность использования барийстронциевого карбонатита в качестве добавки в сварочные флюсы. Дальнейшие исследования по влиянию добавки барийстронциевого карбона-

тита при введении в сварочные флюсы на качество получаемых сварных швов приводится в данной работе.

В серии опытов в лабораторных условиях изготавливали и исследовали различные составы сварочных флюсов.

Сварочный флюс № 1 (флюс-добавка) изготавливался путем смешения барий-стронциевого карбонатита с жидким стеклом в соотношении 70 и 30 % соответственно. После чего осуществляли выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 300°C , охлаждением, дроблением и просевом с выделением фракции $0,45\text{--}2,5 \text{ мм}$. Флюс № 2 — флюс на основе шлака производства силикомарганца фракции $0,45\text{--}2,5 \text{ мм}$, флюсы №№ 3, 4, 5 шлак производства силикомарганца фракции $0,45\text{--}2,5 \text{ мм}$ в смеси с флюс-добавкой (барий стронциевым карбонатитом с жидким стеклом в соотношении 70 % на 30 %) в количествах 1; 3 и 5 % соответственно.

Сварку под флюсами производили встык без скоса кромок с двух сторон на образцах размером $500 \times 75 \text{ мм}$ толщиной 16 мм из листовой стали марки 09Г2С. Процесс проводили проволокой Св-08ГА диаметром 4 мм с использованием сварочного трактора АСАВ-1250 на режимах: $I_{\text{св}} = 700 \text{ А}$; $U_{\text{д}} = 30 \text{ В}$; $V_{\text{св}} = 35 \text{ м/ч}$.

Химические составы флюсов, шлаковых корок и металла сварных швов приведены в табл. 1, 2 и 3, соответственно. Как видно из таблиц, происходит незначительное восстановление бария и стронция из материала, причем изменение химического состава сварного шва указывает на повышение степени десульфурации при использовании флюс-добавки.

Таблица 1

№ образца	Массовая доля элементов, % (в составе флюсов)												
	MnO	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	F	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	S	P
1	0,87	32,52	12,15	1,02	3,54	9,96	—	2,41	2,48	14,24	4,86	0,25	0,21
2	9,58	50,26	18,51	7,98	10,55	1,54	0,38	0,41	0,61	отс.	отс.	0,13	0,05
3	8,11	47,64	29,79	6,19	6,97	0,31	0,21	0,27	отс.	0,25	0,10	0,15	0,01
4	7,96	48,28	28,36	6,15	7,05	0,42	0,33	0,43	0,03	0,61	0,21	0,15	0,02
5	8,19	48,44	28,86	5,08	7,04	0,54	0,31	0,43	0,04	0,65	0,25	0,15	0,02

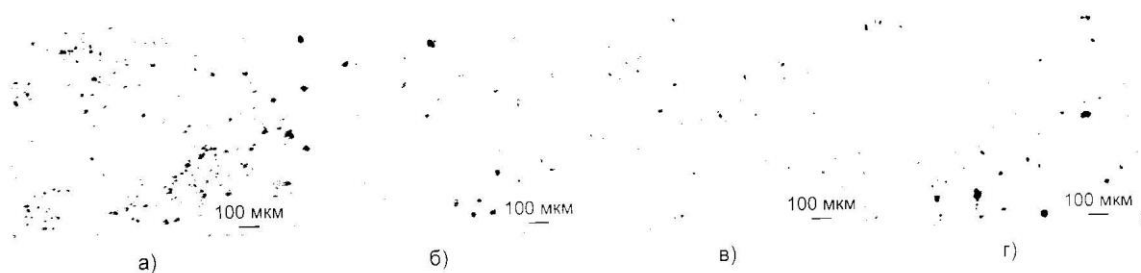


Рис. 1. Неметаллические включения в зоне сварных швов образцов: а) образец 3; б) образец 4; в) образец 5; г) образец 6

Визуальный контроль качества сварного шва образцов № 1, выполненный с использованием только флюс-добавки показал неудовлетворительное качество — неравномерность формы шва, при этом наблюдалась плохая отделимость шлаковой корки. Остальные образцы — удовлетворительного качества.

Из сваренных пластин были вырезаны образцы и выполнены: рентгеноспектральный анализ состава металла швов, металлографические исследования металла сварных швов и определены механические свойства. В связи с неудовлетворительным качеством полученного сварного валика на образце № 1 определение механических свойств не проводилось.

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помо-

щью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 при увеличении $\times 100$. Результаты анализа на наличие неметаллических включений в зоне сварного шва, проведенного согласно ГОСТ 1778—70, приведены на рис. 1 и в табл. 4. Баллы неметаллических включений устанавливали при просмотре всей площади сварных швов нетравленных шлифов. В каждом поле зрения определяли размеры отдельно по каждому виду неметаллических включений методом сравнения с эталонными шкалами.

Исследования указывают на снижение загрязненности металла сварного шва силикатами недеформирующимися и отсутствие силикатов хрупких.

Микроструктура изучалась с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 в светлом поле в диапазоне увеличений $\times 500$ после

Таблица 2

№ образца	Массовая доля элементов, % (в составе шлаковых корок)												
	FeO	MnO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	SrO	F	S	P
1	2,42	4,92	18,81	26,21	14,84	18,11	0,70	0,38	0,51	0,10	—	0,15	0,04
2	2,11	8,05	23,83	46,92	10,27	6,90	0,38	0,66	отс.	отс.	0,74	0,13	0,01
3	1,76	8,21	29,34	46,74	7,17	5,79	0,28	отс.	0,25	0,10	0,23	0,15	0,01
4	2,45	8,42	27,66	46,90	6,92	6,00	0,39	0,04	0,59	0,24	0,27	0,15	0,02
5	2,70	7,93	27,36	46,94	6,87	5,94	0,47	0,12	0,90	0,32	0,32	0,15	0,02

Таблица 3

Образец №	Массовая доля элементов, % (металла сварных швов)											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Nb	Al	S	P	Sr	Ba
1	0,11	0,13	0,53	0,02	0,05	0,10	0,002	—	0,030	0,021	0,0004	0,004
2	0,09	0,71	1,51	0,03	0,10	0,11	0,014	0,023	0,019	0,013	отс.	отс.
3	0,08	0,54	1,38	0,02	0,04	0,06	0,016	0,012	0,011	0,009	0,0004	0,0012
4	0,08	0,51	1,33	0,02	0,03	0,06	0,015	0,021	0,010	0,008	0,0004	0,0021
5	0,09	0,57	1,41	0,02	0,03	0,04	0,020	0,020	0,008	0,009	0,0004	0,0033

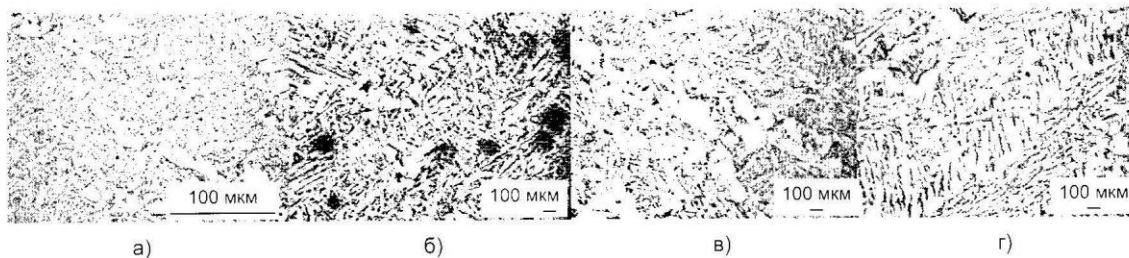


Рис. 2. Микроструктура сварных швов образцов с добавкой барий-стронциевого карбоната, %: а) 0; б) 1; в) 3; г) 5

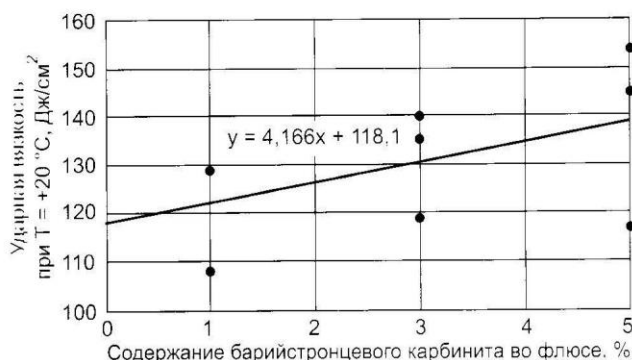


Рис. 3. Влияние содержания барий-стронциевого карбоната во флюсе на ударную вязкость

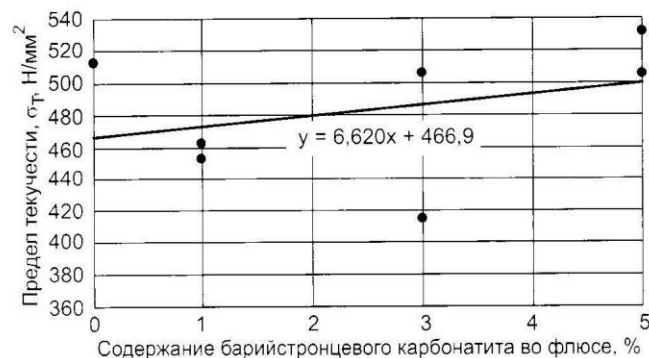


Рис. 4. Влияние содержания барий-стронциевого карбоната во флюсе на предел текучести

травления поверхности образцов в 4 %-ном растворе азотной кислоты. Величину зерна определяли по ГОСТ 5639—82 при увеличении $\times 100$. Микроструктуры металла сварных швов приведены на рис. 2. Металл сварного шва характеризуется образованием структуры феррито-перлита видманштеттовой направленности. При этом в образцах, содержащих стронций и барий, наблюдается некоторое снижение величины зерна. Величина зерна в образце, сваренном под флюсом, не содержащим барий-стронциевый карбонатит, по шкале зернистости составляет № 4, а в образцах (№ 3, № 4, № 5), сваренных под флю-

сом с введением барий-стронциевого карбоната величина зерна составляет № 4, № 5.

Из сваренных пластин были вырезаны образцы и определены механические свойства. В результате исследования механических свойств образцов, вырезанных из сваренных пластин, были получены результаты, указывающие на повышение значений ударной вязкости и предела текучести (рис. 3 и 4).

ВЫВОДЫ

1. Показана принципиальная возможность применения барий-стронциевого карбоната в качестве рафинирующей и газозащитной добавки для сварочных флюсов.

2. Использование барий-стронциевого карбоната позволяет снизить загрязненность сварного шва неметаллическими включениями: силикатами недеформирующимися, оксидами точечными и силикатами хрупкими, а также повысить десульфуризирующую способность сварочных флюсов.

3. Введение барий-стронциевого карбоната во флюс на основе шлака силикомарган-

Таблица 4

Образец №	Неметаллические включения, балл		
	силикаты недеформирующиеся	силикаты хрупкие	оксиды точечные
3	4б; 3б; 4а	3б	1а
4	4б; 3а	отс.	1а; 2а
5	4б; 2б; 2а	отс.	1а; 2а
6	4б; 3а; 4а	отс.	1а; 2а; 3а

ца в количестве до 5 % обеспечивает феррито-перлитную структуру металла сварного шва видманштеттовой направленности, при этом незначительно снижается величина зерна с № 4 до № 4, № 5.

4. Ударная вязкость и предел текучести образцов повышаются при введении в состав флюса барийстронциевого карбонатита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties / Amado Cruz Crespo, Rafael Quintana Puchol, Lorenzo Perdomo González, Carlos R. Gómez Pérez, Gilma Castellanos, Eduardo Díaz Cedréa & Tamara Ortiz // *Welding International*. 2009. № 2. P. 120—131.
2. Golovko V. V. & Potapov N. N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. № 11. P. 889—893.
3. 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 / Rafael Quintana Puchol, Jeily Rodriguez Blanco, Lorenzo Perdomo Gonzalez, Gilma Castellanos Hernández & Carlos Rene Gómez Pérez // *Welding International*. 2009. № 2. P. 132—140.
4. 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 $MnO-SiO_2-CaO-Al_2O_3-CaF_2$ system by fusion // *Welding International*. 2007. № 7. P. 502—511.
5. Volobuev Yu. S., Volobuev O. S., Parkhomenko A. G., Dobrozhela E. I. & Klimenchuk O. S. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams // *Welding International*. 2012. № 8. P. 649—653.
6. Volobuev Yu. S., Surkov A. V., Volobuev O. S., Kipiani P. N., Shestov D. V., Pavlov N. V., Savchenko A. I. The development and properties of a new ceramic flux used for reconditioning rolling stock components // *Welding International*. 2010. № 4. P. 298—300.
7. Potapov N. N., Kurlanov S. A. A criterion for evaluating the activity of fused welding fluxes // *Welding International*. 1987. № 10. P. 951—954.
8. Babushkin P. L., Persits V. Yu. Determination of hydrogen in the form of moisture in basic electrode coatings and fluxing materials in metallurgical production // *Welding International*. 1991. № 9. P. 741—742.
9. Pavlov I. V., Oleinichenko K. A. Regulating generation of CO by varying the composition of ceramic fluxes // *Welding International*. 1995. № 4. P. 329—332.
10. Chigarev V. V., Kosenko A. A. Regulating the silicon-reduction process in welding under ceramic fluxes with an active deoxidising agent // *Welding International*. 1994. № 10. P. 808—809.
11. Kurlanov S. A., Potapov N. N., Natapov O. B. Relationship of physical and welding-technological properties of fluxes for welding low-alloy steels // *Welding International*. 1993. № 1. P. 65—68.
12. Bublik O. V., Snamko S. V. Advantages and shortcomings of ceramic (agglomerated) fluxes in comparison with fused fluxes used for the same applications // *Welding International*. 2010. № 9. P. 730—733.
13. Дерябин А. А., Павлов В. В., Могильный В. В. Эффективность нанотехнологий модифицирования рельсовой стали барием // *Сталь*. 2007. № 11. С. 134—141.
14. Дерябин А. А., Берестов Е. Ю. О механизме модифицирования стали щелочноземельными металлами // *Электрометаллургия*. 2008. № 6. С. 35—38.
15. Рябчиков И. В., Мизин В. Г., Лякишев Н. П., Дубровин А. С. Ферросплавы с редкоземельными и щелочноземельными металлами / М.: *Металлургия*, 1983. 272 с.
16. Григорьев Ю. В., Рябчиков И. В., Рощин В. Е. Термодинамический анализ совместного восстановления кремния и бария углеродом // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2005. № 7. С. 3—5.
17. Черняк С. С., Ромен Б. М. Высокомарганцовистая сталь в драгостроении / Иркутск: Изд. Иркутского университета, 1996. 377 с.
18. Ивакин В. Л., Черняк С. С., Пимнев Д. Ю. Новая технология повышения качества металлов и сплавов барийстронциевым карбонатом / Иркутск: Изд. Иркутского государственного университета, 2004. 123 с.
19. Рожихина И. Д., Нохрина О. И., Дмитриенко В. И., Платонов М. А. Модифицирование стали барием и стронцием // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2015. № 15. С. 871—875.
20. Ватолин И. А., Моисеев Г. К., Трусев Б. Г. Термодинамическое моделирование в высокотемпературных неорганических системах / М.: *Металлургия*, 1994. 352.
21. Трусев Б. Г. Программная система ТЕРРА для моделирования фазовых и химических равновесий при высоких температурах // III Международный симпозиум "Горение и плазмохимия" Алматы, Казахстан. / Алматы: Казак университет, 2005. С. 52—57.
22. Volobueva Yu. S., Volobueva O. S., Parkhomenko A. G., Dobrozhela E. I. & Klimenchuk O. S. Using a new general-purpose ceramic flux SFM-101 in welding of beams // *Welding International*. 2012. No. 8. P. 649—653.
23. Golovko V. V. & Potapov N. N. Special features of agglomerated (ceramic) fluxes in welding // *Welding International*. 2011. No. 11. P. 889—893.
24. Крюков Р. Е., Бендре Ю. В., Козырев Н. А., Осетковский И. В., Горюшкин В. Ф. Окислительно-восстановительные процессы при сварке под углеродсодержащим флюсом // *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 2014. № 10. С. 25—28.
25. Kryukov R. E., Kozyrev N. A., Galevsky G. V., Bendre Y. V., Goryushkin V. F., Valuev D. V. Some aspects of oxidation-reduction under carbon-bearing flux welding / 2015 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 91. 112 p.
26. Липатова У. И., Матинин И. В., Проводова А. А., Кузьменко Д. И. Влияние добавки барийстронциевого карбонатита во флюс на качество сварного шва // *Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: сборник трудов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 20— ч. III / Новокузнецк: СибГИУ, 2016. С. 266—271.*