



**РОССИЯ**

**ISSN 0491-6441**

**СВАРКА –  
ОБРАЗОВАНИЕ  
МЕЖАТОМНЫХ СВЯЗЕЙ  
В РЕЗУЛЬТАТЕ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА СВАРИВАЕМЫЕ  
ПОВЕРХНОСТИ**

# **Сварочное производство**

**2020 № 2**



**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

Издательский центр "Технология машиностроения"

Издается с января 1930 года

Журнал издается при содействии Министерства науки и высшего образования РФ,

Министерства промышленности и торговли РФ,

Российской инженерной академии,

Союза машиностроителей России,

Российского научно-технического сварочного общества

**Редакционная коллегия:**

Гл. редактор В. А. Казаков

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

Ответственный редактор: Т. В. Аулова  
Электронная верстка: ИП В. В. Яланский  
Дизайн обложки: Е. С. Благовидов  
Редактор-переводчик: Г. С. Потапова

**Адрес редакции:**

127015, 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 массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-7778.

Журнал входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов соискателей ученых степеней (сайт: vak.ed.gov.ru/87).

Журнал входит в систему цитирования РФ РИНЦ, международные реферативные базы данных научных изданий "Chemical Abstracts" и "Scopus".

Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

- Алрухайми А. Г., Иванов М. А., Тиньгаев А. К., Воронин С. И. — Воздействие на факторы образования холодных трещин сварного соединения стали 10Г2ФБЮ посредством регулирования погонной энергии \_\_\_\_\_ 3
- Михальченков А. М., Феськов С. А., Козарез И. В., Ториков В. Е. — Влияние термоупрочнения и знакопеременных эксплуатационных нагрузений стали 65Г на микротвердость области, наплавленной малоуглеродистым электродом \_\_\_\_\_ 11
- Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Михно А. Р., Усольцев А. А., Уманский А. А. — Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака \_\_\_\_\_ 16
- Калита В. И., Радюк А. А., Ковалевская Ж. Г., Шаркеев Ю. П., Комлев Д. И., Толмачев А. И., Иванников А. Ю., Захаров И. Н., Багмутов В. П. — Упрочнение плазменных покрытий из быстрорежущей стали при электромеханической и ультразвуковой обработке \_\_\_\_\_ 21

### ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ РАЗДЕЛ

- Кашин Я. М., Копелевич Л. Е., Самородов А. В. — Сварочный аксиальный бесконтактный генератор постоянного тока \_\_\_\_\_ 29
- Лукин М. А., Письменный А. А. — Исследование соединения фланца с листовой заготовкой полученного рельефной сваркой на низкочастотной машине МРН-340.01 в условиях неполного токоподвода \_\_\_\_\_ 33
- Федоров А. В., Рымкевич А. И., Ходаков Д. В. — Особенности аттестации специалистов и технологий сварочного производства для объектов атомной энергетики \_\_\_\_\_ 40

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

- Будкин Ю. В., Докукин А. В., Квасницкий В. Н., Гарин А. В., Гелетий А. Н., Злыднев М. Н. — Современное состояние и перспективы стандартизации новых производственных технологий в машиностроении \_\_\_\_\_ 46

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Жаркевич О. М., Нуржанова О. А. — Совершенствование системы менеджмента качества в условиях ТОО "Maker" — КЛМЗ на основе улучшения процедуры внутреннего аудита \_\_\_\_\_ 51
- Микляев И. А., Крехалев В. В. — Система плано-предупредительного обслуживания и ремонта оборудования в ООО "Агни" \_\_\_\_\_ 56

### ИНФОРМАЦИЯ

- ESAB презентует новинки на выставке "WELDEX/Россварка — 2019" \_\_\_\_\_ 59

Scientific, technical and production monthly journal



# Svarochnoe

2 (1023)  
February

# Proizvodstvo

2020

**FOUNDER:**

**Publishing Centre "Tekhnologiya Mashinostroeniya"**

Published since January 1930

Journal is published in collaboration with RF Ministry of Science and supreme Education,

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

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

Executive editor: *T. V. Aulova*  
Electron galley: *PE V. V. Yalansky*  
Cover design: *E. S. Blagovidov*  
Editor-translator: *G. S. Potapova*

*Address of the editorial office:*

B. Novodmitrovskaya, 23, Moscow, 127015.

**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](mailto: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 journals (<http://vak.ed.gov.ru/87>).

Journal is included into the system of information RF "RINC", international system "Chemical Abstracts" and "Chemical Abstracts".

## CONTENTS

### SCIENTIFIC-TECHNICAL SECTION

- Alrukhaymi A. G., Ivanov M. A., Tingaev A. K., Voronin S. I. — Influence on factors of cold crack formation factors of a steel 10G2FByu welded joint by regulating linear energy \_\_\_\_\_ 3
- Mikhailchenkov A. M., Feskov S. A., Kozarez I. V., Torikov V. E. — The effect of thermal hardening and alternating operational loads of 65G steel on the microhardness of the area deposited by a low-carbon electrode \_\_\_\_\_ 11
- Kozyrev N. A., Kryukov R. E., Mikhno A. R., Usoltsev A. A., Uman-skiy A. A. — Development of new welding fluxes based on silicomanga-nese slag and ladle electric steel-smelting slag \_\_\_\_\_ 16
- Kalita V. I., Radyuk A. A., Kovalevskaya Zh. G., Sharkaev Yu. P., Kom-lev D. I., Tolmachev A. I., Ivannikov A. Yu., Zakharov I. N., Bagmu-tov V. P. — Hardening of plasma coatings from high speed steel during electromechanical and ultrasonic treatment \_\_\_\_\_ 21

### PRODUCTION SECTION

- Kashin Ya. M., Kopelevich L. E., Samorodov A. V. — Axial non-contact welding DC generator \_\_\_\_\_ 29
- Lukin M. A., Pismenny A. A. — The study of the flange connection with the sheet blank obtained by relief welding via a low-frequency machine MRN-340.01 in conditions of incomplete current shunt \_\_\_\_\_ 33
- Fedorov A. V., Rymkevich A. I., Khodakov D. V. — Features of specialist certification and welding technology for nuclear facilities \_\_\_\_\_ 40

### STANDARDIZATION, PRODUCTION QUALITY

- Budkin Yu. V., Dokukin A. V., Kvasnitskiy V. N., Garin A. V., Geletiy A. N., Zlydnev M. N. — Current state and prospects of the new production tech-nologies standardization in machine building \_\_\_\_\_ 46

### ECONOMIC AND PRODUCTION ORGANIZATION

- Zharkevich O. M., Nurzhanova O. A. — Improving the quality management system in the conditions of LLP "Maker — KLMZ on the basis of improving the internal audit procedure \_\_\_\_\_ 51
- Miklyaev I. A., Krekhalev V. V. — System of planned-prophylactic mainte-nance and equipment repair at LLC "Agni" \_\_\_\_\_ 56

### INFORMATION

- ESAB presents new products at the exhibition "WELDEX/Rossvarka — 2019" \_\_\_\_\_ 59

Н. А. КОЗЫРЕВ, д-р техн. наук, Р. Е. КРЮКОВ, канд. техн. наук, А. Р. МИХНО, магистрант, А. А. УСОЛЬЦЕВ, канд. техн. наук, А. А. УМАНСКИЙ, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО "Сибирский государственный индустриальный университет", г. Новокузнецк  
E-mail: kozyrev\_na@mtsp.sibsiu.ru

## Разработка новых сварочных флюсов на основе шлака силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака

Оценена возможность изготовления сварочного флюса на основе шлака производства силикомарганца и ковшевого электросталеплавильного шлака. Изготовление флюс — добавки проводили по двум вариантам: ковшевой электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2 мм смешивали с жидким стеклом в соотношении 62 и 38 % соответственно. Флюс — добавка примешивалась в соотношении 5, 10, 20, 30, 50 % к шлаку силикомарганца.

Определено, что в связи с низкой концентрацией оксида железа и повышенной основностью, возможно использование данного материала при наплавке легированного металла. Анализ уровня загрязненности неметаллическими включениями и увеличение содержания серы в наплавленном металле показал, что без ухудшения качества возможно введение флюс — добавки на основе ковшевого шлака сталеплавильного производства в количестве не более 20 %. При увеличении флюс — добавки больше 20 % качество наплавки ухудшается, возрастает количество неметаллических включений, увеличивается содержание серы. При увеличении введения флюс — добавки более 30 % ухудшается внешний вид наплавленного слоя.

The possibility of manufacturing a welding flux based on slag from the production of silicomanganese and ladle electric steel-smelting slag is evaluated. The production of flux-additives is carried out according to two variants: fractions of the ladle electric steel-smelting slag less than 0.2 mm mixed with liquid glass in a ratio of 62 and 38 %, respectively. Flux-additive is mixed in the ratio of 5, 10, 20, 30, 50 % with the slag of silicomanganese.

It is determined that due to the low concentration of iron oxide and increased basicity, it is possible to use this material at alloyed metal deposition. An analysis of the contamination level with non-metallic inclusions and an increase in the sulfur content in the deposited metal showed that introduction of the flux — additives based on ladle slag of steel-smelting production an amount of not more than 20 % it is possible without deterioration in quality. With an increase in flux — additives more than 20 %, the deposition quality is deteriorated, the number of non-metallic inclusions increases, the sulfur content increases. With an increase of the flux additives introduction over 30 %, the appearance of the deposited layer worsens.

**Ключевые слова:** наплавка, сварочные флюсы, техногенные отходы, шлак силикомарганца, ковшевой электросталеплавильный шлак, микроструктура, неметаллические включения

**Key words:** deposition, welding fluxes, anthropogenic wastes, silicomanganese slag, ladle electric steel-smelting slag, microstructure, non-metallic inclusions

Важным и перспективным направлением в сварочном производстве является разработка и использование новых сварочных флюсов [1—7]. Ряд исследований посвящен со-

вершенствованию составов сварочных флюсов для наплавки с использованием новых флюс — добавок с применением техногенных металлургических отходов (шлаков и шламов)

Таблица 1

Маркировка флюса	Шлак силико-марганца, мас. %.	Флюс-добавка, мас. %.
90	100	0
91	95	5
92	90	10
93	80	20
94	70	30
95	50	50

[8—12]. Проведен ряд работ по использованию в качестве сварочных флюсов шлака производства силикомарганца [13—24]. Технологии защищены патентами РФ (Пат. РФ № 2579412, 2016 г.; Пат. РФ № 2576717, 2016 г.; Пат. РФ № 2643027, 2016 г.; Пат. РФ № 2643026, 2016 г.). При введении в сварочные флюсы на основе шлака производства силикомарганца различных составляющих, возможно получение требуемых сварочно-технологических свойств шлаковых систем.

В данной работе рассмотрена возможность использования для производства сварочных флюсов шлака силикомарганца производства Западно — Сибирского металлургического завода с химическим составом, мас. %:  $Al_2O_3$  6,91—9,62 %,  $CaO$  22,85—31,70 %,  $SiO_2$  46,46—48,16 %,  $FeO$  0,27—0,81 %,  $MgO$  6,48—7,92 %,  $MnO$  8,01—8,43 %,  $F$  0,28—0,76 %,  $Na_2O$  0,26—0,36 %,  $K_2O$  до 0,6 %,  $S$  0,15—0,17 %,  $P$  0,01 %. с ковшевым шлаком электросталеплавильного производства рельсовой стали АО "ЕВРАЗ ЗСМК" с химическим составом, мас. %: 1,31 %  $FeO$ , 0,22 %  $MnO$ , 36,19 %  $CaO$ , 36,26 %  $SiO_2$ , 6,17 %  $Al_2O_3$ , 11,30 %  $MgO$ , 0,28 %  $Na_2O$ , 0 %  $K_2O$ , 3,34 %  $F$ , <0,12 %  $S$ , 0,02 %  $P$ . Ранее работы с ковшевым шлаком электросталеплавильного произ-

водства рельсовой стали АО "ЕВРАЗ ЗСМК" рассмотрены в статьях [25, 26] и защищены патентами РФ (Пат. РФ № 2566235, 2014 г.; Пат. РФ № 2566236, 2014 г.).

Шлак производства силикомарганца фракции 0,45—2,5 мм смешивали с флюс-добавкой, изготовленной из ковшевого электросталеплавильного шлака в смеси с жидким стеклом. Изготовление флюс — добавки проводили следующим образом: ковшевой электросталеплавильный шлак фракции менее 0,2 мм смешивали с жидким стеклом в соотношении 62 и 38 % соответственно. После чего осуществляли 24-часовую выдержку при комнатной температуре, с последующей сушкой в печи при температуре 350 °С, далее смесь охлаждалась, дробилась и просеивалась с выделением фракции 0,45—2,5 мм. В опытах использовали флюс — добавку с химическим составом, мас. %:  $FeO$  — 0,84;  $MnO$  — 0,06;  $CaO$  — 35,47;  $Al_2O_3$  — 4,71;  $MgO$  — 5,01;  $Na_2O$  — 1,92;  $K_2O$  — 0,11;  $S$  — 0,98;  $P$  — 0,013;  $Cr_2O_3$  — 0,04;  $TiO$  — 0,33. Флюс-добавку смешивали со шлаком силикомарганца в различных соотношениях (табл. 1). Соотношение шлака силикомарганца и флюс-добавки, % приведено в табл. 1.

Изучение возможности использования различных составов сварочных флюсов проводили на сварочном тракторе ASAW-1250 с использованием оптимального режима наплавки:  $I = 680$  А,  $U = 28$  В,  $V = 28$  м/ч. Наплавку под слоем флюса производили на пластинах толщиной 40 мм из листовой стали марки 09Г2С с использованием проволоки Св-08ГА диаметром 4 мм. Внешний вид наплавленных валиков удовлетворительный для наплавки при содержании флюс-добавки до 30 %. Химические со-

Таблица 2

Флюс	Массовая доля элементов, %													
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	TiO <sub>2</sub>
90	0,50	7,97	31,34	46,09	6,61	5,74	0,40	0,01	0,33	0,011	0,004	0,05	0,45	0,07
91	0,38	7,59	32,71	45,04	6,60	4,34	1,07	0,081	0,28	0,012	0,003	0,031	0,77	0,10
92	0,42	7,28	33,12	45,10	6,33	4,52	1,40	0,082	0,32	0,011	0,003	0,029	0,87	0,11
93	0,42	6,90	32,06	46,20	6,85	4,03	1,40	0,082	0,34	0,011	0,003	0,024	0,89	0,11
94	0,57	4,62	34,03	43,80	5,09	4,58	3,28	0,14	0,54	0,012	0,004	0,036	1,63	0,17
95	0,74	2,58	35,64	43,33	5,19	4,92	3,99	0,17	0,73	0,013	0,005	0,041	1,99	0,21

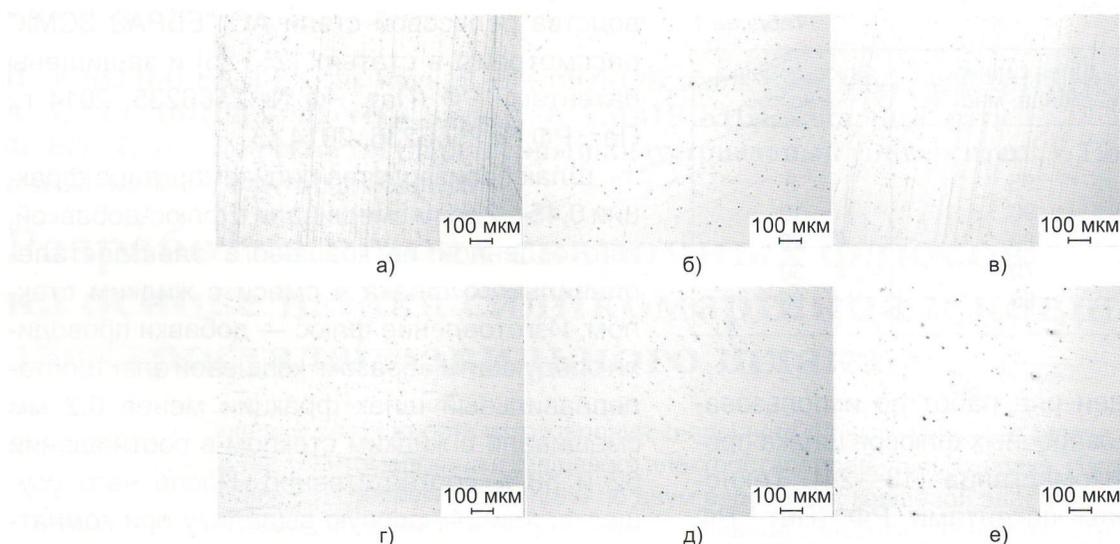


Рис. 1. Неметаллические включения в зоне наплавленных образцов. Образцы: а) 90; б) 91; в) 92; г) 93; д) 94; е) 95

ставы флюсов, шлаковых корок, флюса и металла сварных швов приведены в табл. 2—4 соответственно.

Металлографическое исследование проводилось на микрошлифах без травления с помощью оптического микроскопа OLYMPUSGX-51 при увеличении  $\times 100$ . Вид неметаллических включений в зоне наплавленного валика, приведен на рис. 1, оценка неметаллических включений, проведена согласно ГОСТ 1778—70.

Твердость изучаемых образцов измеряли с помощью твердомера УЗИТ-3. Испытания на износостойкость производили на машине 2070 СМТ-1. Испытания проводились на режимах: нагрузка 30 мА, частота 20 об/мин. Результаты проведенных исследований приведены в табл. 5.

Введение ковшевого шлака электросталеплавильного производства рельсовой стали несколько повышает основность, однако, об-

Таблица 3

Флюс	Массовая доля элементов, %													
	FeO	MnO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	S	P	ZnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	TiO <sub>2</sub>
90	1,69	7,78	32,35	42,50	6,59	5,55	0,30	0,01	0,21	0,011	0,012	0,04	0,37	0,07
91	1,54	7,61	32,42	44,28	7,87	4,28	0,59	0,001	0,16	0,011	0,003	0,033	0,53	0,094
92	1,62	7,04	32,47	43,39	6,63	4,24	0,89	0,081	0,20	0,011	0,004	0,033	0,68	0,11
93	1,78	6,36	33,10	43,13	7,23	4,38	1,19	0,088	0,23	0,012	0,004	0,034	0,83	0,12
94	1,69	5,34	33,28	44,55	6,05	4,64	2,05	0,11	0,33	0,011	0,005	0,032	1,24	0,15
95	1,66	3,90	34,48	44,61	5,59	4,87	2,78	0,14	0,46	0,012	0,005	0,036	1,66	0,17

Таблица 4

Флюс	Массовая доля элементов, %												
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Ti	V	Mo	Al	Nb	S	P
90	0,07	0,43	1,16	0,05	0,11	0,14	отс	0,007	0,021	отс	0,003	0,019	0,012
91	0,04	0,44	1,30	0,04	0,08	0,13	0,001	0,002	0,01	0,002	0,010	0,019	0,012
92	0,04	0,42	1,30	0,04	0,09	0,13	0,001	0,003	0,01	отс	0,010	0,024	0,011
93	0,04	0,41	1,22	0,04	0,09	0,13	отс	0,001	0,01	отс	0,11	0,031	0,010
94	0,04	0,38	1,25	0,04	0,08	0,13	отс	0,002	0,01	отс	0,011	0,033	0,009
95	0,04	0,35	1,22	0,04	0,09	0,12	отс	отс	0,01	отс	0,011	0,036	0,008

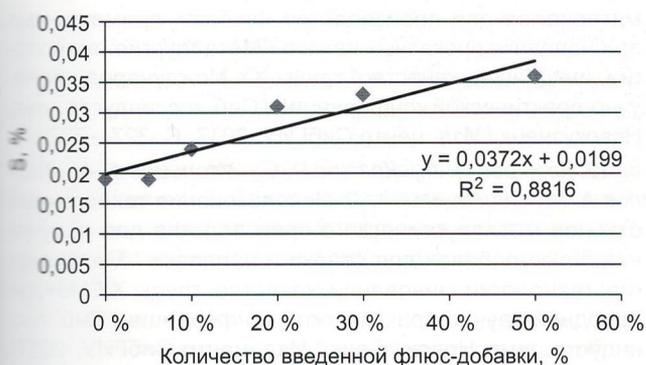


Рис. 2. Влияние количества введенной добавки в наплавленном слое на концентрацию серы

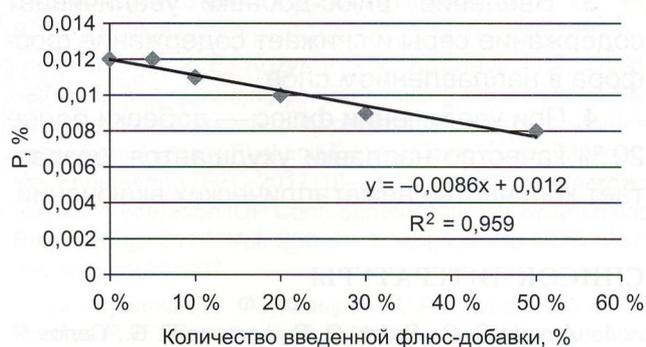


Рис. 3. Влияние количества введенной добавки в наплавленном слое на концентрацию фосфора

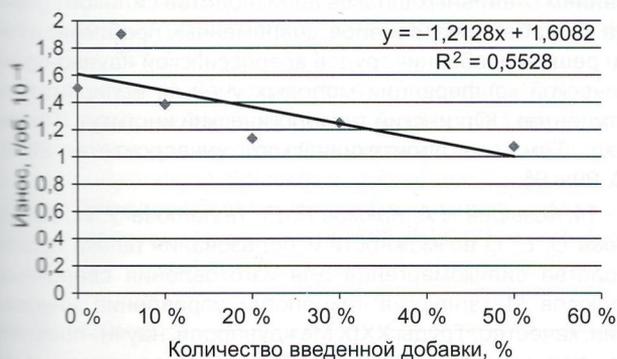


Рис. 4. Влияние количества введенной добавки на износ наплавленного металла

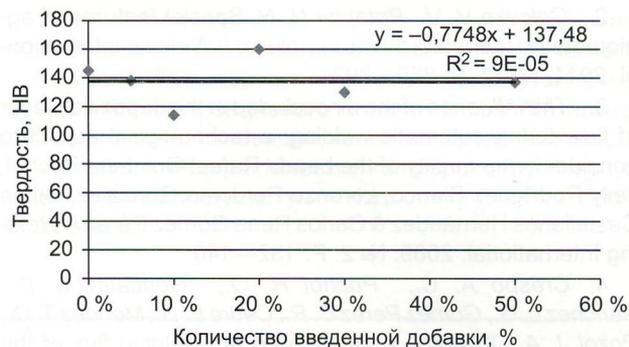


Рис. 5. Влияние количества введенной добавки на твердость в наплавленном слое

разующиеся из флюса шлаки относятся к кислым, при этом несколько снижается окисленность (концентрация оксидов железа и марганца  $FeOMnO$ ), что позволяет использовать рассматриваемые составы при наплавке легированного металла. Использование изучаемых составов сварочных флюсов указывают на некоторое повышение концентрации серы и снижение концентрации фосфора (рис. 2 и 3). Введенная добавка повышает уровень загряз-

ненности неметаллическими оксидными включениями, однако снижает износ (рис. 4) и увеличивает твердость наплаваемого слоя металла (рис. 5).

Таким образом, исходя из уровня загрязненности неметаллическими включениями и увеличения содержания серы в наплавленном металле, может быть рекомендовано введение в шлак производства силикомарганца флюс — добавки на основе кошевого шлака электросталеплавильного производства рельсовой стали в количестве не более 20 %.

Таблица 5

Образец	Неметаллические включения, балл		Твердость образцов, НВ	Износ образцов, г/об.
	силикаты недеформирующиеся	оксиды точечные		
90	16, 26	1а	145	0,000015
91	26, 16	2а, 1а	138	0,000019
92	16, 26	1а, 2а	114	0,000013
93	16, редко 26	1а	160	0,000011
94	16, редко 26	1а	130	0,000012
95	26, 36, редко 46	1а, 2а	137	0,000010

## ВЫВОДЫ

1. Подтверждена принципиальная возможность использования техногенных отходов металлургического производства: шлака производства силикомарганца и флюс-добавки на основе ковшевого электросталеплавильного шлака в качестве наплавочного флюса.

2. При увеличении введения флюс-добавки более 30 % ухудшается внешний вид наплавленного слоя.

3. Введение флюс-добавки увеличивает содержание серы и снижает содержание фосфора в наплавленном слое.

4. При увеличении флюс — добавки более 20 % качество наплавки ухудшается, возрастает количество неметаллических включений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Amado C. C., Rafael Q. P., Lorenzo P. G., Carlos R. Gómez P., Gilma C., Eduardo D., Tamara O. Study of the relationship between the composition of a fused flux and its structure and properties // *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 Rodríguez 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., Goncalvez 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<sub>2</sub>—CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—CaF<sub>2</sub> system by fusion // *Welding International*. 2007. № 7. P. 502—511.

5. Volobuev Yu. S., Volobuev O. S., Parkhomenko A. G., Dobrozhehla 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. 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 // *Заготовительные производства в машиностроении*. 2017. № 6. С. 249—254.

9. Козырев Н. А., Уманский А. А., Крюков Р. Е., Соколов П. Д., Думова Л. В. Разработка флюсов на основе техногенных материалов для наплавки прокатных валков // *Производство проката*. 2017. № 9. С. 33—38.

10. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Усольцев А. А., Князев С. В., Чинин Н. А. Использование техногенных отходов металлургического производства для получения сварочных флюсов. Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк / Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 267—271.

11. Уманский А. А., Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Соколов П. Д., Думова Л. В. Опыт использования техногенных

материалов для производства флюсов, применяемых при наплавке прокатных валков / Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции / Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк / Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 327—332.

12. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Усольцев А. А., Кислов А. И., Свистунов А. Д. Использование техногенных отходов металлургического производства для получения флюс-добавок для сварки и наплавки / Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции: Сиб. гос. индустр. ун-т. Новокузнецк / Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 241—245.

13. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Козырева О. Е., Липатова У. И. Изготовление сварочных флюсов с использованием отвальных шлаков производства силикомарганца. Обработка материалов: современные проблемы и пути решения: сборник трудов всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов / Юргинский технологический институт, Томск: изд. Томского политехнического университета, 2015. С. 90—95.

14. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Липатова У. И., Козырева О. Е. О возможности использования шлака производства силикомарганца для изготовления сварочных флюсов. Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XXIX Международн. научн.-практич. конференции 15—16 декабря 2015 г. / Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. С. 188—191.

15. Kozyrev N. A., Kryukov R. E., Kozyreva O. E., Lipatova U. I., Filonov A. V. Production of Welding Fluxes Using Waste Slag Formed in Silicomanganese Smelting // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 125(2016) — pages 1—6: All-Russia Scientific and Practical Conference on Materials Treatment / Current Problems and Solutions 26—28 November 2015, Yurga, Russia | doi: 10.1088/1757-899X/125/1/01/012034.

16. Kozyrev N. A., Kryukov R. E., Lipatova U. I., Kozyreva O. E. On the use of slag from silicomanganese production for welding flux manufacturing // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 150 (2016) 012032 — P. 1-9 | doi: 10.1088/1757-899X/150/1/012032

17. Крюков Н. Е., Крюков Р. Е., Козырева О. Е., Козырев Н. А., Липатова У. И. Переработка техногенных отходов в технологиях изготовления сварочных флюсов и добавок ним // *Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии: Сб. научн. тр.* / Новокузнецк: Изд. СибГИУ, 2016. № 37. С. 206—213.

18. Козырев Н. А., Крюков Р. Е. Эффективное использование шлака силикомарганца при изготовлении сварочных флюсов / Инновации в топливно-энергетическом комплексе и машиностроении: сборник трудов Международной научно-практической конференция 18—21 апреля 2017 года / Кемерово: КузГТУ, 2017. С. 134—139.

19. Крюков Р. Е., Козырев Н. А., Усольцев А. А., Козырева О. Е., Липатова У. И. Новые сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца для наплавки и сварки перекрытий и оснований шахтной крепи // *Научное применение технологий разработки и использования минеральных ресур-*

сов: науч. журнал // Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т. 2017. № 3. С. 140—147.

20. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Крюков Н. Е., Ковальский И. Н., Козырева О. Е. Разработка новых сварочных флюсов и флюс-добавок для сварки и наплавки стали с использованием отходов металлургического производства. Сообщение 2. Сварочные флюсы на основе шлака силикомарганца // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. N 5. С. 85—89.

21. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Усольцев А. А., Липатова У. И. Использование барий-стронциевого карбоната при сварке под флюсом // Сварочное производство. 2017. № 6. С. 11—16.

22. Kryukov R. E., Kozyrev N. A., Prokhorenko O. D., Bashenko L. P., Kibko N. V. Quality of weld seams produced with flux based on silicomanganese slag // Steel in Translation. 2017. No. 7. P. 440—444.

23. Kryukov R. E., Kozyrev N. A., Usoltsev A. A., Kozyreva O. E. New welding fluxes based on silicomanganese slag for deposition and welding of canopies and crib bed of mine support. International Scientific and Research Conference on Knowledge-based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources (KTDMUR2017), 6—9 June

2017 // Novokuznetsk: Russian Federation, 2017. Vol. 84. P. 1—8 || <https://doi.org/10.1088/1755-1315/84/1/012019>

24. Kryukov R. E., Kozyrev N. A., Kozyreva O. A., Usoltsev A. A. Manufacturing of New Welding Fluxes Using Silicomanganese Slag. International Scientific-Practical Conference: Innovations in Fuel and Energy Complex and Mechanical Engineering (FEC-2017)18—21 April 2017 / Kemerovo, Russian Federation IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2017. Vol. 253. P. 1—9 || doi: 10.1088/1757-899X/253/1/012007.

25. Якушевич Н. Ф., Козырев Н. А., Проводова А. А., Крюков Р. Е., Липатова У. И. Использование ковшевого сталеплавильного шлака при изготовлении сварочного керамического флюса // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2015. № 3. С. 3—5.

26. Козырев Н. А., Крюков Р. Е., Михно А. Р., Уманский А. А. Разработка новых сварочных флюсов с использованием ковшевого электросталеплавильного шлака и барийстронциевого модификатора. Металлургия: технологии, инновации, качество: труды XX Международной научно-практической конференции / Новокузнецк: Сиб. гос. индустр. ун-т. Изд. центр СибГИУ, 2017. С. 288—292.

УДК 621.793; 539.5; 620.178.152.341.4

В. И. КАЛИТА, д-р техн. наук, А. А. РАДЮК, д-р техн. наук, Д. И. КОМЛЕВ, канд. техн. наук, А. Ю. ИВАННИКОВ, канд. техн. наук

Институт Металлургии и Материаловедения им. А. А. Байкова РАН, г. Москва

Ж. Г. КОВАЛЕВСКАЯ, канд. техн. наук, Ю. П. ШАРКЕЕВ, д-р физ.-мат. наук,

А. И. ТОЛМАЧЕВ, инж.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск

И. Н. ЗАХАРОВ, д-р техн. наук, В. П. БАГМУТОВ, д-р техн. наук

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: kovalevskaya@ispms.tsc.ru

## Упрочнение плазменных покрытий из быстрорежущей стали при электромеханической и ультразвуковой обработке\*

Исследованы покрытия из быстрорежущей стали, полученные газотермическим плазменным напылением с последующей электромеханической или ультразвуковой обработкой поверхности. Показано, что самый значительный эффект упрочнения покрытия наблюдается при комбинированной электромеханической и ультразвуковой обработке. Микротвердость покрытия повышается на 83 % за счет суммирования эффектов упрочнения на всех структурных уровнях. На макроуровне упрочнение обусловлено залечиванием пор и образованием новых металлических связей между напыленными частицами покрытия на микроуровне — формированием субструктуры и дисперсных выделений вторых фаз внутри частиц.