

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«Сибирский государственный индустриальный университет»  
Российская академия естественных наук

*90-летию Сибирского государственного  
индустриального университета посвящается*

**ВЕСТНИК  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ СЕКЦИИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

Отделение металлургии

*Сборник научных трудов*

*Издается с 1994 г. ежегодно*

Выпуск 43

Москва  
Новокузнецк  
2020

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

В 387

**В 387 Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии:** Сборник научных трудов. Вып. 43 / Редкол.: Е.В. Протопопов (главн. ред.), М.В. Темлянцев (зам. главн. ред.), Г.В. Галевский (зам. главн. ред.) [и др.]: Сибирский государственный индустриальный университет. – Новокузнецк, 2020. – 272 с., ил.

Издание сборника статей, подготовленных авторскими коллективами, возглавляемыми действительными членами и членами-корреспондентами РАЕН, других профессиональных академий, профессорами вузов России. Представлены работы по различным направлениям исследований в области металлургии черных и цветных металлов и сплавов, порошковой металлургии и композиционных материалов, физики металлов и металловедения, экономики и управления на предприятиях.

Сборник реферируется в РЖ Металлургия.

Электронная версия сборника представлена на сайте <http://www.sibsiu.ru> в разделе «Научные издания»

Ил. 89, табл. 61, библиогр. назв. 276.

*Редакционная коллегия:* Аренс В.Ж., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН, вице-президент РАЕН, г. Москва; Райков Ю.Н., д.т.н., д.ч. РАЕН, председатель горно-металлургической секции РАЕН, ОАО «Институт Цветметобработка», г. Москва; Протопопов Е.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (главный редактор), СибГИУ, г. Новокузнецк; Темлянцев М.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Галевский Г.В., д.т.н., проф., д.ч. РАЕН (зам. главного редактора), СибГИУ, г. Новокузнецк; Буторина И.В., д.т.н., проф., СПбГПУ, г. Санкт-Петербург; Волокитин Г.Г., д.т.н., проф., д.ч. МАНЭБ, ТГАСУ, г. Томск; Медведев А.С., д.т.н., проф., д.ч. МАН ВШ, НИТУ «МИСиС», г. Москва; Максимов А.А., д.т.н., проф., г. Новокузнецк; Немчинова Н.В., д.т.н., проф., ИрНИТУ, г. Иркутск; Руднева В.В., д.т.н., проф. (отв. секретарь), СибГИУ, г. Новокузнецк; Спириин Н.А., д.т.н., проф., д.ч. АИН, УрФУ, г. Екатеринбург; Черепанов А.Н., д.ф.-м.н., проф., член РНК ТММ, ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск; Юрьев А.Б., д.т.н., проф., СибГИУ, г. Новокузнецк.

УДК 669.1(06)+669.2/.8.(06)+621.762(06)+669.017(06)

ББК 34.3я4

© Сибирский государственный индустриальный университет, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ И РУКОВОДИТЕЛЯХ  
АВТОРСКИХ КОЛЛЕКТИВОВ

Бабенко А.А.	д-р техн. наук, проф., Институт металлургии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург
Галевский Г.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк
Козырев Н.А.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Немчинова Н.В.	д-р техн. наук, проф., ИрНИТУ, г. Иркутск
Нохрина О.И.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Оршанская Е.Г.	д-р пед. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Рожихина И.Д.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Руднева В.В.	д-р техн. наук, проф., СибГИУ, г. Новокузнецк
Темлянцев М.В.	д-р техн. наук, проф., д.ч. РАЕН, СибГИУ, г. Новокузнецк

## Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	7
МЕТАЛЛУРГИЯ ЧЕРНЫХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ .....	8
<i>М.В. Темлянецв, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Современная металлургия: технологии, доминирующие тенденции, прогнозы .....	9
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: состояние производства и металлопродукция .....	20
<i>Г.В. Галевский, О.А. Полях, В.В. Руднева, А.Е. Аникин</i> Молибден в современной металлургии: минерально-сырьевая база и производство молибденовых концентратов .....	32
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, К.С. Ёлкин, М.А. Голодова</i> Современное состояние мирового и отечественного производства ферросплавов.....	47
<i>А.Е. Аникин, Г.В. Галевский, В.В. Руднева</i> Металлизация оксиджелезосодержащих отходов с использованием различных углеродистых восстановителей .....	63
<i>И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, И.Е. Ходосов, К.С. Ёлкин</i> Изучение состава и характеристик шлаков рафинирования кремния .....	77
<i>К.С. Ёлкин, И.Д. Рожихина, О.И. Нохрина, А.В. Сивцов, И.М. Кашлев, А.И. Карлина, Д.К. Ёлкин</i> Анализ показателей производства кремния и ферросилиция с учетом генетических особенностей кварцитов .....	85
<i>А.А. Александров, В.Я. Дашевский</i> Термодинамический анализ растворения кислорода в никель- кобальтовых расплавах .....	95
<i>Д.А. Есенгалиев, А.З. Исагулов, С.О. Байсанов, А.С. Байсанов, О.В. Заякин</i> Термодинамика углеродо- и металлотермического восстановления марганца.....	102
<i>А.А. Бабенко, Р.Р. Шартдинов, А.Г. Уполовникова, А.Н. Сметанников, В.С. Гуляков</i> Исследование свойств высокоосновных борсодержащих шлаков.....	108
<i>К.С. Ёлкин, И.М. Кашлев, А.И. Карлина</i> Рафинирование кремния и кремнистых ферросплавов от примесей....	113
<i>А.З. Исагулов, Д.Р. Аубакиров</i> Причины образования и предупреждение литейных дефектов в мелющих шарах .....	120

<i>Д.А. Лубяной, Р.О. Мамедов, С.В. Князев</i> Ресурсо- и энергосбережение в технологии получения стальных отливок с термовременной обработкой .....	126
<i>Т.В. Ковалева, Е.Н. Еремин</i> Повышение эксплуатационных характеристик оболочковой формы..	133
<i>А.В. Кожевников, А.С. Смирнов, Ю.В. Платонов</i> Исследование возникновения вибраций при холодной прокатке полосы.....	138
<i>Е.А. Пинаев, М.В. Темлянец, Е.Н. Темлянцева, Н.И. Кувшинникова</i> Исследование химического и фазового состава продуктов коррозии чугунных секций газосборного колокола алюминиевых электролизеров ЭкоСодерберг.....	144
<i>Н.В. Немчинова, А.А. Яковлева, А.А. Тютрин, О.П. Гудкова</i> Опробование песков прибайкалья в качестве барьерных материалов для алюминиевого электролизера.....	152
<b>Порошковая металлургия и композиционные материалы.....</b>	<b>158</b>
<i>Г.В. Галевский, В.В. Руднева, А.Е. Аникин, Т.И. Алексеева</i> Исследование механизма образования карбида циркония в условиях плазменного потока азота .....	159
<i>Д.К. Ёлкин, К.С. Ёлкин, А.В. Сивцов</i> Научные и технологические основы получения «активного» карбида кремния .....	171
<b>Физика металлов и металловедение .....</b>	<b>175</b>
<i>А.М. Анасов</i> Явление формирования металлической связи между атомами соприкасающихся свободных поверхностей трещиноподобных дефектов при воздействии излучения оптического квантового генератора .....	176
<i>А. Х. Хакимов, Т.М. Умарова, И. Н. Ганиев, Н.Р. Эсанов</i> Анодное поведение алюминиевого-железowego сплава АЖ 2,18 с иттрием, гадолинием и эрбием, в среде электролита 0,3 %-ного NaCl .....	180
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, К.А. Бутакова, А.Н. Гостевская, А.А. Усольцев</i> Изучение микроструктуры сварных соединений рельсов из стали марки Э76ХФ.....	187
<i>Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Н. Гостевская, К.А. Бутакова, А.А. Усольцев</i> Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ .....	195

## ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ... 201

*Л.Н. Шевелев*

Повышение энергоэффективности и экологической безопасности доменного и сталеплавильного производств ..... 202

*С.Г. Галевский*

Субъектно-ориентированный подход в оценке доходности металлургических компаний ..... 208

*С.Г. Галевский*

Оценка эффективности металлургических инвестиционных проектов на основе корректного учета рисков ..... 216

*Е.Л. Медиокритский*

Утилизация твердых бытовых отходов в польше: подходы и опыт решения вопросов ..... 226

## ПРОБЛЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ..... 234

*М.В. Темлянцев, Г.В. Галевский*

Подготовка кадров для современной металлургии: задачи. Инновации. Перспективы. (итоги тематической деловой встречи) ..... 235

*Е.Г. Оршанская*

Применение дистанционных технологий в процессе изучения иностранных языков в вузе ..... 239

*Р.И. Ким, Я.Ю. Хомичев, О.А. Угольников*

Оценка физической подготовленности обучающихся как показатель эффективности физического воспитания в вузе ..... 245

*О.А. Угольникова, Р.И. Ким, Е.Е. Григораиш*

Сопоставительные нормативы для оценки физической и функциональной подготовленности женщин-борцов ..... 249

## ОТКЛИКИ, РЕЦЕНЗИИ И БИОГРАФИИ ..... 255

*Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева*

Синтез алмазов: развитие теории и технологические прогнозы профессора О.И. Лейпунского (к 110-летию со дня рождения и 80-летию его великого открытия) ..... 256

*Г.В. Галевский, В.В. Руднева, Д.Н. Воробьева*

Профессор Т. Холл – ученый, технолог, конструктор (к 100-летию со дня рождения) ..... 263

## К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ ..... 270

Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.Н. Гостевская, К.А. Бутакова,  
А.А. Усольцев

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный  
университет», г. Новокузнецк, Россия

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКИ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В МЕТАЛЛЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ Э76ХФ\*

В работе проведено исследование загрязненности неметаллическими включениями рельсовой стали Э76ХФ (основного металла и сварного шва). Показано, что преобладающим типом неметаллических включений в сварных соединениях во всех исследуемых образцах являются точечные оксиды. Установлено, что режимы контактной стыковой сварки не оказали влияние на загрязненность образцов.

The study of the contamination of non-metallic inclusions of rail steel E76HF (base metal and weld). It is shown that the predominant type of nonmetallic inclusions in welded joints in all the studied samples is point oxides. It was established that flash butt welding did not affect the contamination of the samples.

Одной из основных причин вывода рельсов из эксплуатации являются скопления неметаллических включений в зоне сварного стыка [1].

При этом неметаллические включения могут образовываться, как при производстве стали (выплавка, выпечная обработка, разливка стали), так и непосредственно при сварке рельсов в плети. Потому вопросом образования неметаллических включений и их трансформация при сталеплавильном производстве и сварке рельсов уделяется большое внимание [2, 3].

В качестве исследуемого материала использовались образцы стали марки Э76ХФ. Химический состав образцов приведен в таблице 1.

Для сварки образец сечением 10 мм × 30 мм и длиной 90 мм вырезался из головки рельса. Контактную стыковую сварку непрерывным оплавлением проводили на машине МС – 20.08 по режиму:  $U_2 = 5,76$  В,  $I_2 = 11,7$  кА,  $V_{\text{опл}} = 1$  мм/с,  $\Delta_{\text{опл}} = 10$  мм, где  $U_2$  – вторичное напряжение;  $I_2$  – вторичный ток;  $\Delta_{\text{опл}}$  – припуск на оплавление;  $\Delta_{\text{ос}}$  – припуск на осадку;  $V_{\text{опл}}$  – скорость оплавления.

---

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-48-420003 р\_а «Развитие физико-химических и технологических основ создания принципиально нового способа сварки дифференцированно термостойких железнодорожных рельсов»

Таблица 1 – Химический состав образцов рельсовой стали

№ образ-ца	Массовая доля элементов, %								
	C	Mn	Cr	Si	V	Al	P	S	Cu
0	0,74	0,84	0,37	0,26	0,04	0,002	0,009	0,010	0,10
1	0,76	0,77	0,37	0,53	0,04	0,003	0,010	0,009	0,08
2	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
3	0,76	0,77	0,37	0,53	0,04	0,003	0,010	0,009	0,08
4	0,76	0,77	0,37	0,53	0,04	0,003	0,010	0,009	0,08
5	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
6	0,76	0,77	0,36	0,53	0,04	0,003	0,010	0,007	0,08
7	0,77	0,80	0,38	0,56	0,04	0,002	0,008	0,006	0,10
8	0,74	0,79	0,38	0,55	0,06	0,002	0,009	0,005	0,11
9	0,77	0,80	0,38	0,56	0,04	0,002	0,008	0,006	0,10

При сварке образцов №1 – №9 происходил подвод дополнительного тепла в момент их охлаждения путем пропускания через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам (таблица 2). Образец №0 получен способом контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением без термической обработки.

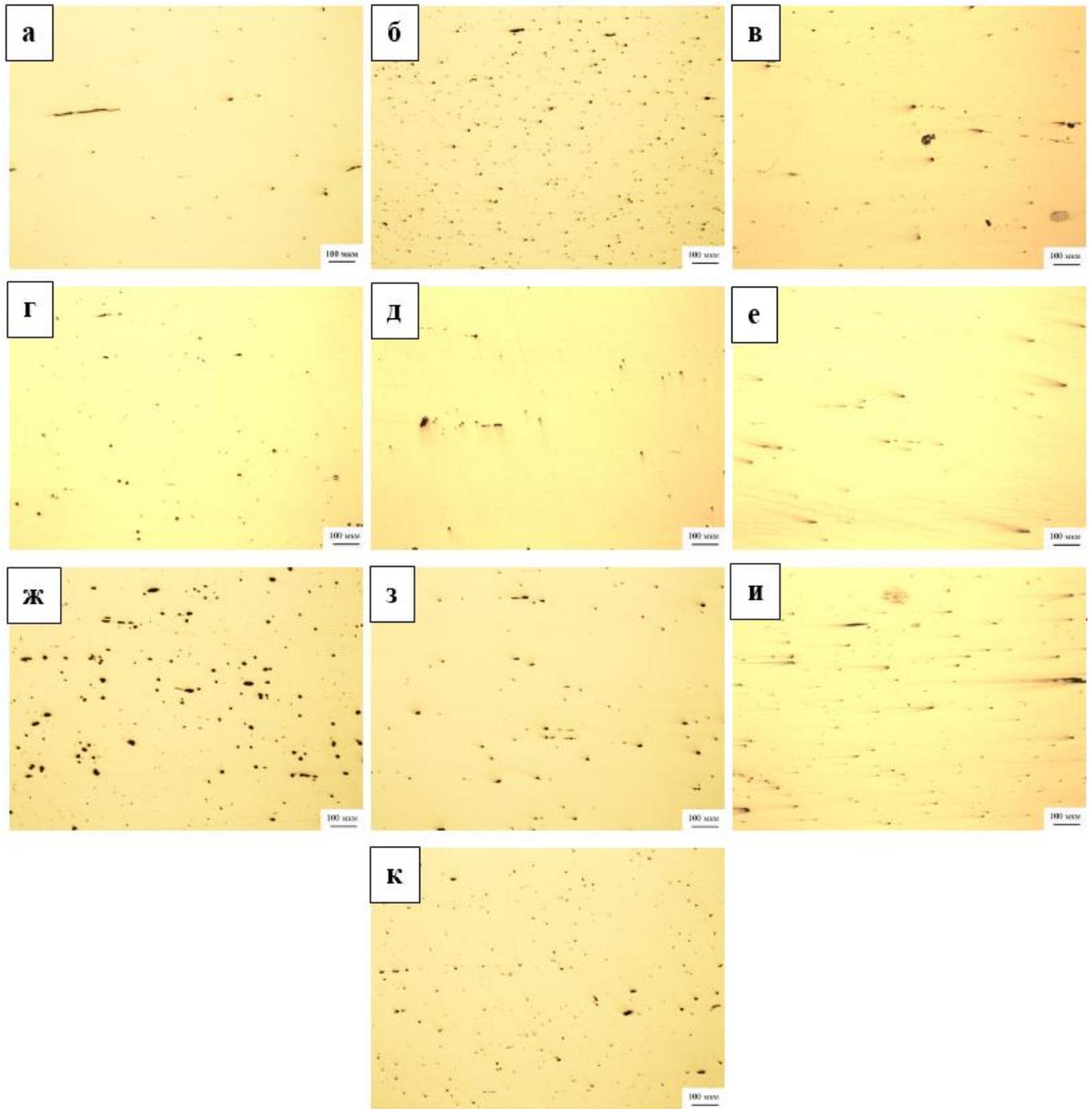
Исследование образцов стали Э76ХФ на неметаллические включения проводилось на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат в соответствии ГОСТ 1778-70.

Изучение уровня загрязненности неметаллическими включениями проводили на образцах до сварки, как и после сварки в зоне сварного стыка.

На рисунке 1 представлены изображения видов неметаллических включений присутствующих в основном металле. Неметаллические включения, находящиеся в зоне сварного шва показаны на рисунке 2.

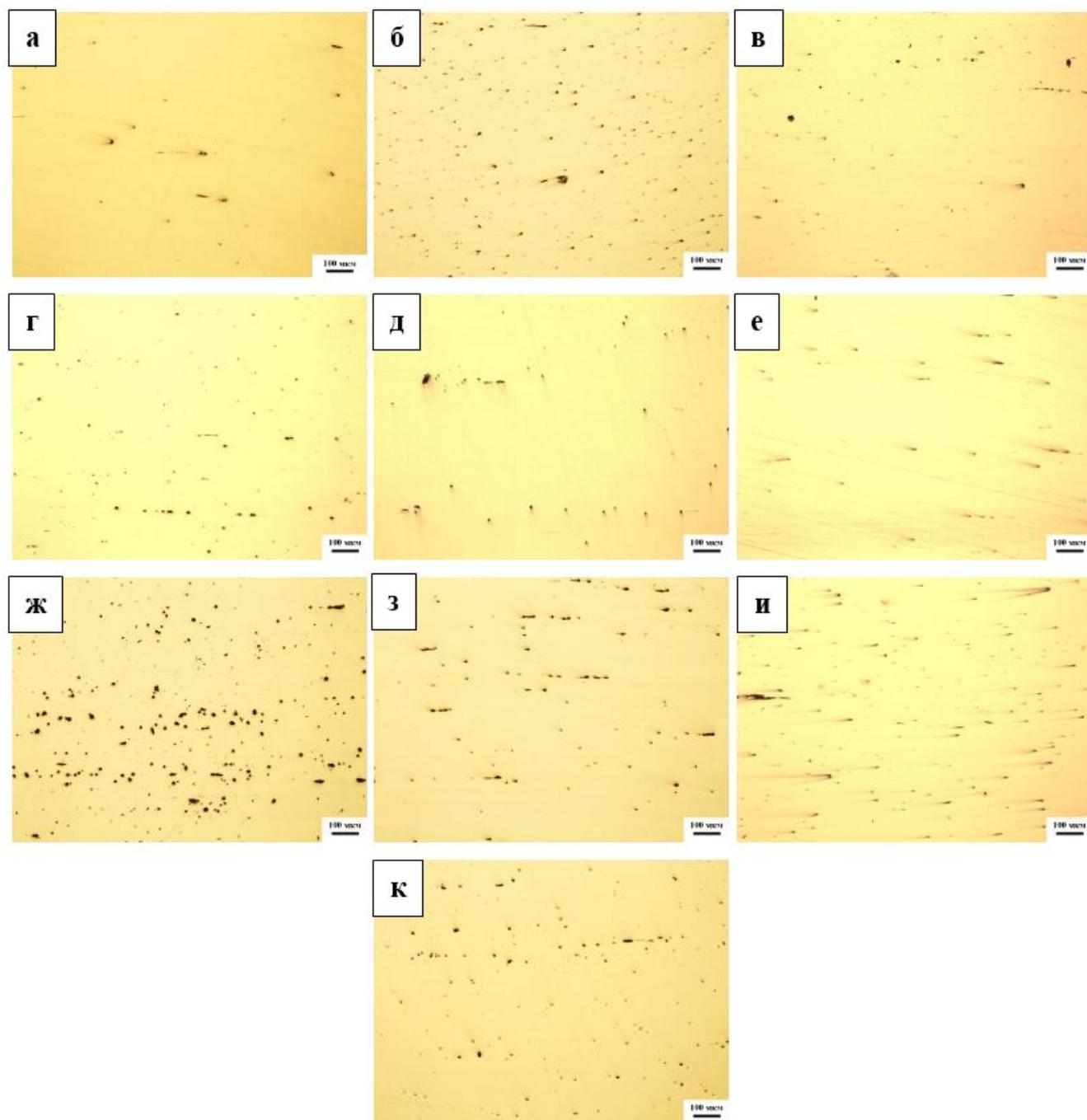
Таблица 2 – Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ

Образец, №	Время охлаждения после осадки, с	Время подогрева, с	Время охлаждения после подогрева, с	Количество импульсов подогрева, с
1	30	0,6	15	4
2	30	0,6	15	2
3	30	0,6	10	4
4	30	0,6	10	2
5	25	0,6	15	4
6	25	0,6	15	2
7	25	0,6	10	4
8	25	0,6	10	2
9	27,5	0,6	12,5	3



а – образец №0; б – образец №1; в – образец №2; г – образец №3;  
д – образец №4; е – образец №5; ж – образец №6; з – образец №7;  
и – образец №8; к – образец №9.

Рисунок 1 – Неметаллические включения основного металла



а – образец №0; б – образец №1; в – образец №2; г – образец №3;  
 д – образец №4; е – образец №5; ж – образец №6; з – образец №7;  
 и – образец №8; к – образец №9.

Рисунок 2 – Неметаллические включения сварного шва стали марки Э76ХФ

Выявленные неметаллические включения являются типичными для включений, образующихся в металле при выплавке рельсовой стали. Результаты оценки загрязненности неметаллическими включениями по бальности и среднему значению загрязненности участков приведены в таблицах 3, 4.

Таблица 3 – Виды неметаллических включений основного металла стали Э76ХФ

№ Образца	Типы неметаллических включений по образцам, балл					
	Оксиды точечные	Силикаты пластичные	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Нитриды строчечные	Среднее значение
0	1 (а)	3 (а)	–	–	2 (а)	1,2
1	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
2	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
3	1 (а)	–	–	3 (а)	2 (а)	1,2
4	2 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	1
5	1 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	0,8
6	4 (а)	4 (б)	–	2(а)	2 (а)	2,4
7	2 (а)	–	–	1 (а)	2 (а)	1
8	1 (а)	2 (б)	–	–	–	0,6
9	1 (а)	–	–	1 (а)	3 (а)	1

Приведенные данные в таблице 3 свидетельствуют о присутствии в основном металле неметаллических включений в виде оксидов точечных, силикатов пластичных, недеформирующихся и хрупких и строчечных нитридов. Проведенные исследования загрязненности образцов показало, что в зоне основного металла выявлены неметаллические включения схожие с присутствующими в зоне сварного шва. Было установлено, что в основном металле самым загрязненным образцов является образец №6, а самыми чистыми образцы №5 и №8.

Таблица 4 – Виды неметаллических включений сварного шва стали Э76ХФ

№ Образца	Типы неметаллических включений по образцам, балл					
	Оксиды точечные	Силикаты пластичные	Силикаты недеформирующиеся	Силикаты хрупкие	Нитриды строчечные	Среднее значение
0	1 (а)	3 (а)	–	–	2 (а)	1,2
1	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
2	1 (а)	4 (а)	5 (а)	–	–	2
3	1 (а)	–	–	3 (а)	2 (а)	1,2
4	2 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	1
5	1 (а)	2 (а)	1 (а)	–	–	0,8
6	4 (а)	4 (б)	–	2(а)	2 (а)	2,4
7	2 (а)	–	–	1 (а)	2 (а)	1
8	1 (а)	2 (б)	–	–	–	0,6
9	1 (а)	–	–	1 (а)	3 (а)	1

По результатам, представленным в таблице 4, можно сделать вывод, что в зоне сварного шва преобладают неметаллические включения в виде точеч-

ных оксидов. В этой области наблюдается загрязненность пластинчатыми, недеформирующимися и хрупкими силикатами и строчечными нитридами. Среди всех образцов, выявлено, что самым загрязнённым является образец №6. А наиболее чистыми являются образцы № 5 и №8.

Исходя из данных приведенных в таблицах 3, 4 и на рисунках 1, 2 установлено, что контактная стыковая сварка непрерывным не оказала влияние на образование неметаллических включений в образцах.

**Выводы:**

Исследование неметаллических включений образцов в основном металле и в зоне сварного шва показало, что режимы контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением не оказали влияние на загрязненность образцов.

На основании полученных данных о загрязненности неметаллическими включениями в соответствие с ГОСТ 1778-70 было установлено, что преобладающим типом неметаллических включений в сварных соединениях во всех исследуемых образцах являются точечные оксиды. Неметаллические включения, выявленные в исследуемых образцах, типичны для включений, образующихся при выплавке рельсовой стали.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки Э76Х при различных параметрах изотермической выдержки / К.А. Бутакова [др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии наук. Отделение металлургии. – 2018. – №41. – С. 221 – 224.

2. Исследования состава и распределения неметаллических включений по сечению рельсовых профилей / А. А. Уманский, А. В. Головатенко, А. С. Симачев // Вестник горно-металлургической секции Российской академии естественных наук. Отделение металлургии – Москва; Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2019. – Вып. 42. – С. 22 – 27.

3. Исследование неметаллических включений, образующихся при электроконтактной сварке рельсовой стали / Е. В. Полевой, Р. А. Шевченко, Н. А. Козырев, Д. Ю. Кушев, А. М. Юнусов // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2019. – № 1 (27). – С. 8 – 12.