

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. Темлянец (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; Темлянец 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; Спирин 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. Темлянец, 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. Кашилев, 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. Кашилев, 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
ПОРОШКОВАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	158
<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
ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОВЕДЕНИЕ	175
<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-железового 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. Темлянец, 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, К.А. Бутакова, А.Н. Гостевская,
А.А. Усольцев

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

ИЗУЧЕНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ РЕЛЬСОВ ИЗ СТАЛИ МАРКИ Э76ХФ*

В работе проведено исследование структуры сварных соединений рельсовой стали марки Э76ХФ при различных режимах сварки. Установлено, что в зоне сварного шва преобладает структура пластинчатого перлита. В зоне сварного шва рельса после контактной стыковой сварки без использования дополнительной обработки выявлены недопустимые структуры, представляющие собой игольчатый мартенсит. В ходе исследования были определены оптимальные параметры сварки, благодаря которым возможно получить требуемую структуру материала.

In this paper, the structure of welded joints of Э76ХФ grade rail steel under different welding modes is studied. It is established that the structure of lamellar perlite prevails in the weld zone. In the area of the rail weld after contact butt welding without the use of additional processing, unacceptable structures representing needle martensite were identified. In the course of the study, the optimal welding parameters were determined, thanks to which it is possible to obtain the required material structure.

Для обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте важным условием является высокая и гарантированная стойкость сварного соединения рельсов [1, 2]. При разработке новой технологии сварки проведено исследование микроструктуры сварных соединений, выполненных в лабораторных условиях.

Целью данной работы является изучение влияния контактного подогрева на структуру стали марки Э76ХФ.

Для проведения исследований использовалась сталь марки Э76ХФ. Химический состав исследуемых образцов приведен в таблице 1.

* 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 термоупрочненных железнодорожных рельсов»

Таблица 1 – Химический состав образцов рельсовой стали

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

Для сварки из головки рельса Р65 марки Э76ХФ вырезался образец с сечением 10 мм × 30 мм и длиной 90 мм 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 $K_{\text{тр}}$ – коэффициент трансформации; 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.

Для сравнения использовали режим №0, полученный способом контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением без термической обработки. При сварке образцов, полученных по режимам №1 - №9, происходил подвод дополнительного тепла в момент их охлаждения путем пропуска через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам (Таблица 2). Исследуемыми параметрами введения дополнительного тепла являлись: X_1 – время охлаждения после осадки (характеризуется скоростью охлаждения (степень переохлаждения аустенита) и температурой T_1 , до которой происходит охлаждение); X_2 – время подогрева (характеризуется температурой T_2 , до которой происходит нагрев); X_3 – время охлаждения после подогрева (характеризуется температурой T_1 , до которой происходит охлаждение); X_4 – количество импульсов подогрева (характеризуется инкубационным периодом превращения аустенита в перлит).

Металлографический анализ изменений структуры проводился при увеличении $\times 500$ с помощью оптического микроскопа Olympus GX–51. Для создания оптического контраста образцы химически травились раствором, представляющим собой 4%-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте в течение 6 секунд. Анализ и оценка микроструктуры образцов выполнены по ГОСТ 8233-56.

Исследование микротвердости было проведено по ГОСТ 9450-76 с помощью микротвердомера HVS–1000. Нагрузка была постоянной для всех режимов обработки и составляла 1Н. Время приложения и удержания нагрузки составляло 10 с, снятия испытательной нагрузки – 5 с.

Таблица 2 – Режимы контактного подогрева образцов стали Э76ХФ

Режим, №	X ₁ , с	X ₂ , с	X ₃ , с	X ₄ , 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

Анализ микроструктуры проводили в образцах по зонам. Выделены следующие характерные области: шов – обезуглероженный слой, зона крупного зерна, зона мелкого зерна, основной металл.

На рисунке 1 представлены изображения структуры, полученные при различных режимах.

Результаты оценки микроструктуры на бальность в зоне сварного шва представлены в таблице 3.

По результатам проведенного анализа, представленным в таблице 3, установлено, что в зоне сварного шва преобладает структура пластинчатого перлита. Дисперсность этого типа структуры изменяется в пределах 1-4 балла по шкале 1 ГОСТ 8233. Для режимов №3, №5, №6, №7 и №9 в данной зоне преобладает сорбитообразный перлит с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм. Для режима №1 - скрытопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием 0,3 мкм. Для режима №4 преобладает мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием 0,4 мкм. Согласно ГОСТ Р 51685-2013 данные типы структур являются допустимыми в рельсовом металле.

Таблица 3 – Оценка микроструктуры в зоне сварного шва

Режим, №	Объемная доля мартенсита/троостита, % (Балл)	Степень дисперсности пластинчатого перлита, балл
0	95/5 (4)	-
1	-	2
2	>75/<25 (7,5)	-
3	-	1
4	-	4
5	-	1
6	-	1
7	-	1
8	25/75 (7)	-
9	-	1

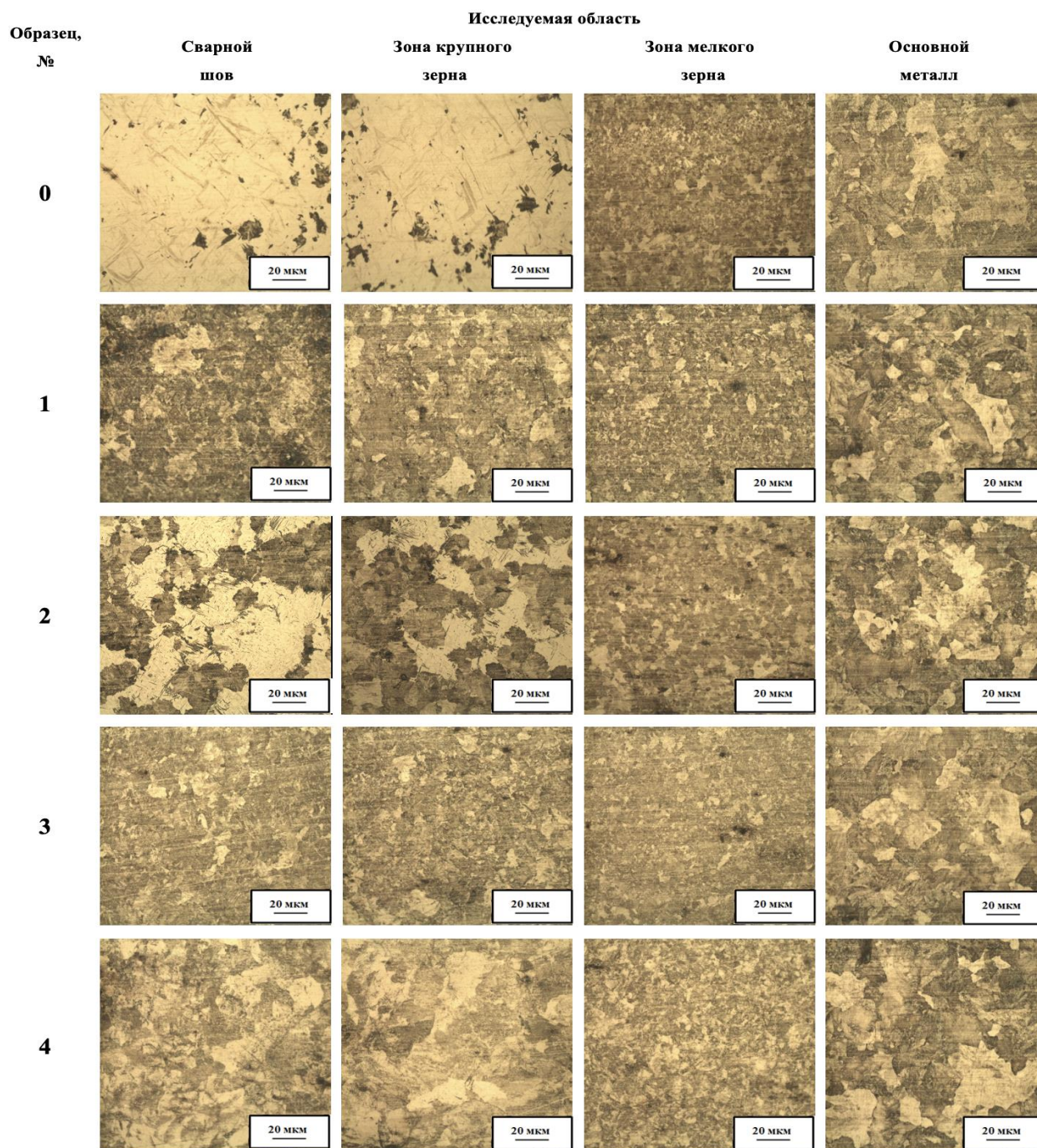
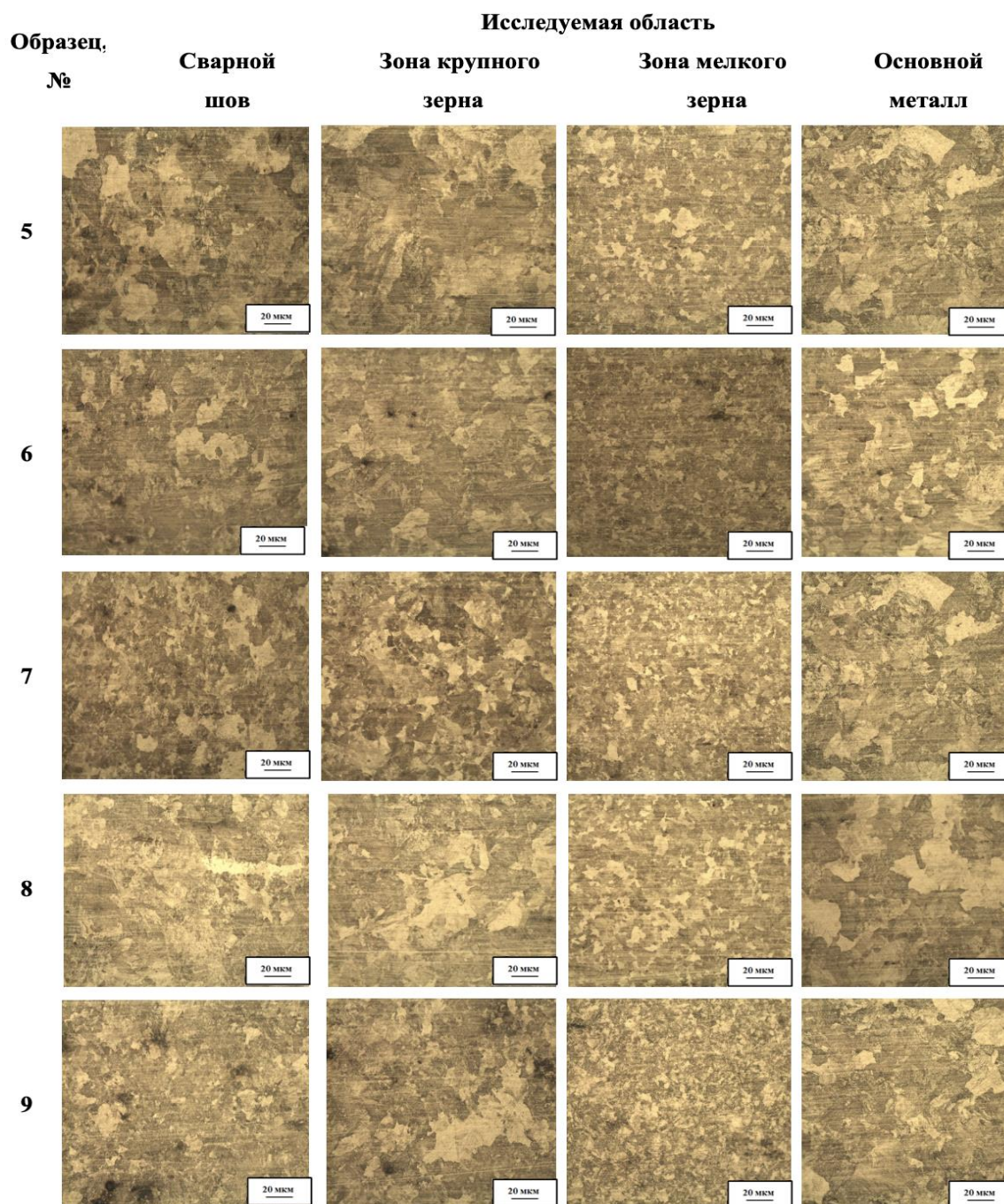


Рисунок 1 – Микроструктура различных областей, полученная при различных режимах



Продолжение Рисунка 1 – Микроструктура различных областей, полученная при различных режимах

В сварном шве образцов, полученных по режимам № 0, № 2 и №8, присутствует структура игольчатого мартенсита. Размеры игл для режима №0 оцениваются баллом 7 шкалы 3 ГОСТ 8233 и относится к типу крупноигольчатого мартенсита с наибольшей длиной игл 12 мкм. Для образца, полученного по режиму №2, структура мартенсита соответствует баллу 6 шкалы 3 ГОСТ 8233. Такой тип мартенсита относится к среднеигольчатому мартенситу, где наибольший размер игл составляет 10 мкм. Для режима №8 в зоне сварного шва наблюдается мартенсит, оценивающийся баллом 4 шкалы 3 ГОСТ 8233. Данный тип мартенсита

соответствует мелкоигльчатому мартенситу с наибольшей длиной игл 6 мкм. Наличие таких структур недопустимо в рельсовом металле.

Результаты оценки микроструктуры на бальность в зоне крупного зерна представлены в таблице 4.

Приведенные данные в таблице 4 свидетельствуют о преобладании в зоне крупного зерна структуры пластинчатого сорбитообразного перлита с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм. Для режимов №4 и №5 обнаружен тонко- и мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием до 0,6 мкм. Проведенные исследования микроструктуры образцов, полученных по режиму №0, №2 и №8, показали, что в зоне крупного зерна, так же как и в сварном шве, присутствует мартенситная структура, наличие которой не допускается в рельсовом металле. Для режимов №0 и №2 мартенсит оценивается баллом 8 шкалы 3 ГОСТ 8233. Данный тип мартенсита относится к крупноигльчатому мартенситу с размером игл 16 мкм. Для режима №8 мартенсит оценивается баллом 5 шкалы 3 и относится к типу среднеигльчатого мартенсита с размером игл 8 мкм.

Микроструктура в зоне мелкого зерна представляет собой пластинчатый и зернистый перлит в различной стадии коагуляции. Дисперсность пластинчатого перлита оценивается баллом 1 шкалы 1 ГОСТ 8233, и соответствует сорбитообразный перлит с межпластинчатым расстоянием менее 0,2 мкм. Дисперсность зернистого перлита оценивается баллом 1 шкалы 1 ГОСТ 8233. Данный тип зернистого перлита относится к точечному со средним диаметром зерен цементита до 0,25 мкм. Протяженность данной зоны для исследуемых образцов варьируется от 3 до 5 мм. Режимы №1, №5, №6 и №8 имеют наименее протяженную область мелкого зерна, равную 3 мм, режимы №4 и №9 наибольшую, равную 5 мм.

Структура основного металла исследуемых образцов представляет собой пластинчатый перлит 1 – 2 балла по шкале 1 ГОСТ 8233, что характерно для структуры нетермоупрочненных рельсов.

Таблица 4 – Оценка микроструктуры в зоне крупного зерна

Режим, №	Протяженность зоны	Объемная доля мартенсита/троостита, % (Балл)	Степень дисперсности пластинчатого перлита, балл
0	0,9 мм	95/5 (4)	-
1	0,9 мм	-	1
2	2,09 мм	25/75 (9)	-
3	0,9 мм	-	1
4	1,9 мм	-	3-4
5	3,0 мм	-	3-4
6	1,9 мм	-	1
7	0,9 мм	-	1
8	3,09 мм	25/75 (9)	-
9	0,9 мм	-	1

Таблица 5 – Протяженность зон термического влияния и средние значения микротвердости для исследуемых режимов

Режим, №	Протяженность зоны термическо- го влияния	Средние значения микротвердости HV1			
		Зона свар- ного шва	Зона круп- ного зерна	Зона мел- кого зерна	Основной металл
№0	5 мм	519	525,02	418,98	369,21
№1	5 мм	356,44	347,5	328,49	321,59
№2	6 мм	413,08	374,13	333,72	344,27
№3	5 мм	350,8	336,3	311,5	324,1
№4	7 мм	294,5	300,7	303,9	324,9
№5	7 мм	336,0	316,8	302,6	328,6
№6	5 мм	360,42	349,35	316,29	323,97
№7	5 мм	358,9	352,9	329,5	330,3
№8	7 мм	365,82	355,4	284,12	318,42
№9	6 мм	357,3	358,55	319,96	334,4
Среднее значение		371,226	361,665	324,9	331,976

Протяженность зон термического влияния, а так же значения микротвердости по зонам, выявленным в зоне термического влияния представлены в таблице 5.

Из данных таблицы 5 видно, что наименьшая протяжённость зоны термического влияния наблюдается у сварных стыков, полученных по режимам №0, №1, №3, №6 и №7 (около 5,0 мм), а наибольшая – у сварного стыка №4, №5 и №8 (около 7,0 мм). Исходя из полученных данных по макроструктуре, можно увидеть границу между основным металлом и зоной термического влияния. Этот переход обуславливается резким различием в размере зерна (или перлитной ячейки) между двумя областями.

Максимальные значения микротвердости в зоне сварного шва и крупного зерна наблюдаются в образцах, полученных по режимам № 0 и № 2, что подтверждает наличие в этих зонах у данных образцов структуры мартенсита. Минимальные значения микротвердости характерны для зоны мелкого зерна. Снижение микротвердости после сварки в зоне мелкого зерна, очевидно, произошло вследствие образования зернистого перлита на данном участке. Область, относящаяся к зоне основного металла, имеет микротвердость 330 HV1. Равномерное распределение микротвердости получено при режимах №4 и №7.

Таким образом, можно делать вывод, что наиболее оптимальным из представленных режимов контактного подогрева для образцов стали Э76ХФ является режим №7. Данный образец сочетает минимальную протяженность зоны термического влияния, отсутствие в сварном соединении закалочных структур, удовлетворительную протяженность зоны мелкого зерна и оптимальные значения микротвердости.

Выводы:

В результате микроструктурного анализа в сварном соединении образцов из рельсовой стали Э76ХФ, полученным электроконтактным способом, в зоне термического влияния выделены четыре участка: сварной шов, зона крупного зерна, зона мелкого зерна и основной металл.

Изучена микроструктура в зоне сварного шва рельса после контактной стыковой сварки без использования контактного подогрева, в момент охлаждения сварного соединения, выявлены недопустимые структуры, представляющие собой игольчатый мартенсит. Наличие мартенсита так же установлено в образцах, полученных по режимам №2 (Режим сварки: $U_2 = 5,76$ В, $I_2 = 11,7$ кА, $V_{\text{опл}} = 1$ мм/с, $\Delta_{\text{опл}} = 10$ мм. Режим контактного подогрева: время охлаждения после осадки 30 с, время подогрева 0,6 с, время охлаждения после подогрева 15 с, количество импульсов подогрева 2 с) и №8 (Режим сварки: $U_2 = 5,76$ В, $I_2 = 11,7$ кА, $V_{\text{опл}} = 1$ мм/с, $\Delta_{\text{опл}} = 10$ мм. Режим контактного подогрева: время охлаждения после осадки 25 с, время подогрева 0,6 с, время охлаждения после подогрева 10 с, количество импульсов подогрева 2 с) Наличие этой структуры в металле рельсов приводит к развитию усталостных трещин и хрупкому излому. На режимах №1, №3 – №7, №9 участков мартенсита в зоне сварного шва не обнаружено.

Оптимальными параметрами контактного подогрева после контактной стыковой сварки с точки зрения полученной микроструктуры протяженности зоны термического влияния и значений микротвердости являются параметры, использованные в режиме №7 (Режим сварки: $U_2 = 5,76$ В, $I_2 = 11,7$ кА, $V_{\text{опл}} = 1$ мм/с, $\Delta_{\text{опл}} = 10$ мм. Режим контактного подогрева: время охлаждения после осадки 25 с, время подогрева 0,6 с, время охлаждения после подогрева 10 с, количество импульсов подогрева 4 с). Этот режим рекомендуется применять для сварки рельсов для получения повышенных эксплуатационных показателей надежности стыкового соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генкин И.З. Сварные рельсы и стрелочные переводы / И. З. Генкин. – М.: Интекст, 2003. – 93 с.
2. 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.