

СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ КУЗБАССА  
МИНИСТЕРСТВО ТуРИЗМА И МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ  
КУЗБАССА  
«КЕМЕРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ КУЗБАССА  
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР «КУЗБАСС»



## Материалы

**Х Инновационного конвента**  
**«Кузбасс: образование, наука, инновации.**  
**Молодежный вклад в развитие научно-образовательного центра**  
**«Кузбасс»**

**Кемерово, 30.01.2022 года**

Кемерово 2022

**ББК** Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

**УДК** 001.89:378

**И 66**

**Редакционная коллегия:**

Ганиева Ирина Александровна, д.э.н., доцент, министр науки и высшего образования Кузбасса

Пятовский Антон Александрович, министр туризма и молодежной политики Кузбасса

Просеков Александр Юрьевич, д.т.н., профессор, член-корр. РАН, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, ректор Кемеровского государственного университета

Кашталап Василий Васильевич, д.м.н., доцент, заведующий отделом клинической кардиологии Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний; профессор кафедры кардиологии и сердечно-сосудистой хирургии Кемеровского государственного медицинского университета, председатель Совета молодых ученых Кузбасса, лауреат премии Кузбасса

Кононов Вячеслав Степанович, главный специалист министерства туризма и молодежной политики Кузбасса

Бормина Лариса Николаевна, преподаватель Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии, председатель Совета молодых ученых Кузбасской государственной сельскохозяйственной академии

Двадцатов Иван Викторович, аспирант Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, председатель Совета молодых ученых Научно-исследовательского института комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний

Двуреченская Анастасия Сергеевна, кандидат культурологии, доцент, доцент кафедры культурологии, философии и искусствоведения Кемеровский государственный институт культуры

Кирякова Алена Алексеевна - главный специалист отдела сопровождения издательского процесса управления научно-издательской деятельности Кемеровский государственный университет

Лосева Анна Ивановна - к.т.н., начальник управления научно-издательской деятельности Кемеровский государственный университет

Лушпей Анастасия Александровна, старший преподаватель кафедры литературы, русского и иностранных языков Кемеровский государственный институт культуры

Михайлова Екатерина Сергеевна – к.х.н., заместитель директора Института углехимии и химического материаловедения Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН

Михно Алексей Романович, ведущий специалист по НИРС, директор НПЦ «Сварочные процессы и технологии» Сибирского государственного индустриального университета

Носков Максим Алексеевич - методист Региональный центр выявления, поддержки и развития способностей и талантов у детей и молодежи «Сириус. Кузбасс»

Паничкина Елена Васильевна, к.п.н., доцент кафедры культурологии, философии и искусствоведения Кемеровского государственного института культуры

Померанцева Елена Владимировна, документовед проектного офиса Кемеровского государственного института культуры

Порохнов Андрей Николаевич, директор ЦДО «Дом научной коллаборации им. П.А. Чихачева» при Кемеровском государственном университете

Соболева Ольга Александровна, ведущий инженер-технолог лаборатории цитогенетики Института экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН, председатель Совета молодых ученых Института экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН

Стародубов Алексей Николаевич, к.т.н., доцент, заместитель директора по научной работе Института угля Федерального исследовательского центра угля и углехимии СО РАН

Ушаков Андрей Геннадьевич, к.т.н., доцент, доцент кафедры химической технологии твёрдого топлива Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева, председатель Совета молодых ученых Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева

Формулевич Янина Васильевна - к.э.н., доцент кафедры бухгалтерского учета, анализа, аудита и налогообложения, заместитель директора по социально-воспитательным вопросам института экономики и управления Кемеровского государственного университета

Шевченко Роман Алексеевич, преподаватель кафедры материаловедения, литейного и сварочного производства; младший научный сотрудник НПЦ «Сварочные процессы и технологии» Сибирского государственного индустриального университета

ISBN 978-5-7806-0440-2

В сборнике представлены труды студентов, аспирантов, молодых ученых по результатам инновационных исследований.

Работы посвящены инновационным аспектам в области строительства, медицины, энергетики, пищевой промышленности, экологии, образования, культуры, биотехнологии и др.

Материалы сборника представляют интерес для научных и научно-технических работников, преподавателей, аспирантов, студентов вузов.

ISBN 978-5-7806-0440-2

**ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431**  
© Авторы научных статей, 2022

**ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ЗОНУ ТЕРМИЧЕСКОГО  
ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ ПРИ ЭЛЕКТРОННОЙ СВАРКИ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ РЕЛЬСОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Гостевская Анастасия Николаевна*

*Сибирский государственный индустриальный университет*

*Шевченко Роман Алексеевич*

[lokon1296@mail.ru](mailto:lokon1296@mail.ru)

Наиболее уязвимой при эксплуатации частью рельсов это сварной шов. Установлено, что главные параметры, определяющие склонность рельсов к разрушению, считаются: наличие недопустимых закалочных структур в сварном шве, и протяженность зоны термического влияния, что зависит от выбранного режима сварки, а также проведения дополнительной термической обработки. Таким образом, оценка структуры железнодорожных рельсов после осуществления сварки в зоне сварного соединения является актуальной задачей.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, сварной шов, рельсовая сталь, неметаллические включения, структура, микротвердость.

**INFLUENCE OF CURRENT AND VOLTAGE ON THE ZONE OF THERMAL  
INFLUENCE OF WELDS DURING ELECTRONIC WELDING OF RAILWAY RAILS  
OF A NEW GENERATION**

*Gostevskaya Anastasia Nikolaevna, Shevchenko Roman Alekseevich, Siberian State Industrial  
University*

The vulnerable part of the rails during operation is the welded seam. The parameters are determined that determine the tendency of rails to fracture, these are hardening structures in the weld, and the length of the heat-affected zone, depending on the welding mode, and additional heat treatment. Therefore, the assessment of the structure of rails after welding in the welded joint zone is an urgent task.

Key words: resistance butt welding, weld seam, rail steel, non-metallic inclusions, structure, microhardness.

Самые важные и дорогостоящие элементы железнодорожных путей – это рельсы. Их надежность и безопасность определяется специальными требованиями.

Протяженность железных дорог в России составляет свыше 87000 километров, они состоят из стальных магистралей, которые прокладываются рельсами длиной до 100 метров.

На сегодняшний день становление железнодорожного хозяйства характеризуется развитием современных методов и технологий ремонта путей. Развивающимся методом укрепления строения железнодорожных рельсов является смена болтовых стыков на сварные стыки. Прочностные свойства рельсов, подвергнутых контактной стыковой сварке, определяются подбором параметров сварки. В России для производства путей используют рельсы нового поколения, типа Р65. При проведении контактной стыковой сварки рельсов марки Р65 возможно образование структуры мартенсита в зоне термического влияния [1 – 3].

В условиях роста грузонапряженности, скорости движения и нагрузок на ось предъявляются высокие требования к качеству рельсовой стали как отечественных, так и зарубежных производителей.

Электроконтактная сварка рельсов – это один из распространенных способов сварки на территории России. Такой метод дает возможность получать надежные сварные стыки при строительстве и ремонте железнодорожных бесстыковых путей.

Сварные швы рельсовых креплений должны соответствовать требованиям, которые позволяют обеспечить высокое качество сварного соединения и избежать появления дефектов, характерных при сварке. Дефекты, которые появляются при проведении сварки, приводят к образованию и развитию трещин и, как следствие, выходу из строя стыка рельсов, что нарушает безопасность движения. Поэтому надежности стыковых соединений рельсов уделяется особое внимание.

На сегодняшний день активно развивается строительство и укладка скоростных магистралей железных дорог с использованием рельсов типа Р65, изготовленных из рельсовой стали [4].

Одной из важных проблем сварки рельсов является не соответствие данных, полученных при исследовании контрольных образцов после сварки непрерывным или пульсирующим оплавлением и образцов без воздействия на сварное соединение термообработкой. В сравнении с отечественным способом при сварке рельсовых стыков зарубежный метод выдвигает специальные требования по термообработке. Способ непрерывного оплавления приводит к удлинению зоны термического влияния, что воздействует на прочность сварных соединений рельсовых стыков.

Изучение свойств сварных стыков рельсов показало, что на сегодняшний день сварка рельсов методом непрерывного оплавления не позволяет достигнуть необходимого уровня прочностных характеристик, что в свою очередь приводит к образованию в металле сварного стыка сварочных дефектов. Из-за этого происходит падение срока службы рельсов и приводит к большим затратам на ремонт.

Исследования показали, что важными условиями, приводящими рельсы к разрушению, считаются: наличие в стали неметаллических включений, присутствие непозволительной структуры в сварном соединении и протяженность зоны термического влияния [4 – 5].

Материалы и методы исследования. Для сварки вырезали образцы из рельсов сечением 10 мм × 30 мм × 90 мм. Сечение образцов выбиралось из условий ведения сварки непрерывным оплавлением на машине МС – 20.08. Прежде всего, были выбраны оптимальные режимы исходя из рекомендуемого режима, представленного в руководстве по применению сварочного аппарата.

Контактную стыковую сварку непрерывным оплавлением проводили на машине МС – 20.08 по режиму:  $U_2 = 5,76$  В,  $I_2 = 11,7$  кА,  $V_{опл} = 1$  мм/с,  $\Delta_{опл} = 10$  мм, где  $U_2$  – вторичное напряжение;  $I_2$  – вторичный ток;  $\Delta_{опл}$  – припуск на оплавление;  $\Delta_{ос}$  – припуск на осадку;  $V_{опл}$  – скорость оплавления [4 – 5].

Образец №0 получен способом контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением без термообработки. При сварке образцов №1 и №2 происходил подвод дополнительного тепла в момент их охлаждения путем пропускания через сварной стык переменного электрического тока по заданным режимам с параметрами: Режим 1: Время охлаждения после осадки: 25 с, Время подогрева: 0,6 с, Время охлаждения после подогрева: 15 с, Количество импульсов подогрева 4 с; Режим 2: Время охлаждения после осадки: 25 с, Время подогрева: 0,6 с, Время охлаждения после подогрева: 10 с, Количество импульсов подогрева 2 с.

Для проведения исследований была выбрана сталь Э76ХФ с химический состав приведенном: Образец №0: С – 0,76%; Мн – 0,77%; Si – 0,53%; Cr – 0,37%; V – 0,04%; P – 0,009%; S – 0,005%; Al – 0,003%; Ni – 0,07%; Cu – 0,11%; Ti – 0,002%; Mo – 0,005%; Nb – 0,001%; Sn – 0,005%; Sb – 0,002%; O – 0,0009%; H, ppm – 1%.

Образец 1: С – 0,76%; Мн – 0,77%; Si – 0,53%; Cr – 0,36%; V – 0,04%; P – 0,014%; S – 0,007%; Al – 0,003%; Ni – 0,06%; Cu – 0,08%; Ti – 0,002%; Mo – 0,004%; Nb – 0,001%; Sn – 0,004%; Sb – 0,001%; O – 0,0009%; H, ppm – 1,1%.

Образец 2: С – 0,74%; Мн – 0,79%; Si – 0,55%; Cr – 0,38%; V – 0,06%; P – 0,009%; S – 0,005%; Al – 0,002%; Ni – 0,06%; Cu – 0,07%; Ti – 0,002%; Mo – 0,003%; Nb – 0,002%; Sn – 0,004%; Sb – 0,001%; O – ; H, ppm – 0,7%.

Исследование рельсовой стали проводилось на оборудовании микроскопе OLYMPUS GX-51 и на микротвердомере HVS-1000A [5].

Макроструктура сварных швов образца №0, представлена на рис. 1. По строению макроструктуры можно определить, что образец, подвергнутый сварке, имеют несколько зон (зона основного металла, зона термического влияния и сварной шов). Протяженность зоны термического влияния образца 0 по обе стороны от сварного шва составляет 4 мм.

В рельсовой стали Э76ХФ были выявлены неметаллические шлаковые включения в виде темнотравящихся полосок и точек. Исследование образцов рельсовой стали на неметаллические включения проводилось на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат в соответствии с ГОСТ 1778-70.

В образце №0, подвергнутом сварке без подвода тепла, были обнаружены включения в виде: точечных оксидов (балл № 2а) (рис.1, а, б, в) и недеформирующихся силикатов (балл №1а) (рис. 1, б), силикатов пластинчатых (балл №1б) (рис. 1, а, в).

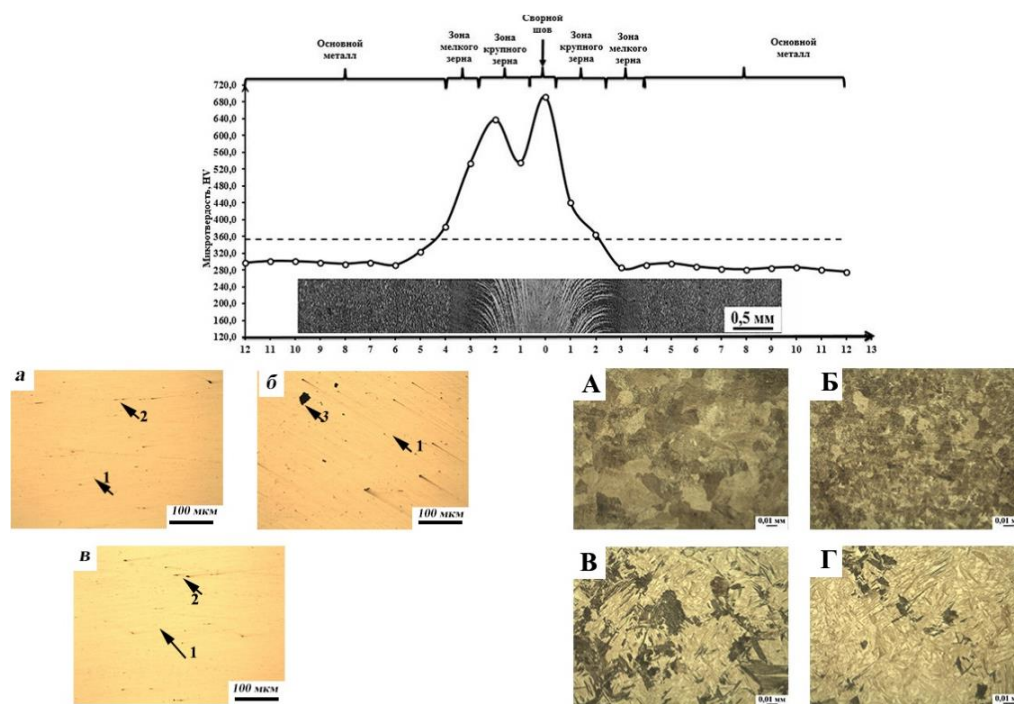
Структура образца после сварки значительно отличается от исходного, в структуре в зоне сварного шва наблюдается игольчатый мартенсит. Исследование микроструктуры сварного шва позволил выявить, на какие зоны подразделяется материал после электроконтактной сварки.

- 1) Основной металл (рис. 1, А);
- 2) Зона термического влияния (мелкого зерна) (рис. 1, Б);
- 3) Зона термического влияния (крупного зерна) (рис. 1, В);
- 4) Зона сварного шва (рис. 1, Г).

Как видно из рисунка 5, сварной шов и зона термического влияния имеют структуру игольчатого мартенсита. На расстоянии 4 мм от сварного шва структура изменяется и состоит из мелкодисперсного перлита. На расстоянии от 8 мм структура является характерной для основного металла.

На рис. 1 представлен график изменения микротвердости в зависимости от зоны образца, сваренного по режиму №0. Из представленных данных видно, что значение микротвердости образца, подвергнутого сварке без подвода тепла, изменяется в пределах от 279,5 до 691 НВ. Возрастание значений микротвердости в зоне термического влияния и сварном шве объясняется наличием в структуре игольчатого мартенсита.

На рис. 2 показана макроструктура образца, сваренного по режиму №1. В ходе исследования было выявлено, что протяженность зоны термического влияния составляет 5 мм. Исследование на неметаллические включения проводилось на металлографическом микроскопе OLYMPUS GX-51 при увеличении в 100 крат в соответствии ГОСТ 1778-70. Основной металл образца №1 (рис. 2, а) содержит следующие неметаллические включения: силикаты недеформирующиеся (балл № 3а), оксиды точечные (балл № 1а) и силикаты пластинчатые (балл № 2а). В зоне термического влияния выявлено наличие недеформирующихся силикатов (балл № 3а), точечных оксидов (балл № 1а) и пластинчатые силикаты (балл № 2а) (рис. 2, б). В сварном соединении данного образца были выявлены силикаты недеформирующиеся (балл № 3а), оксиды точечные (баллы № 1а) и силикаты пластинчатые (балл № 2а) (рис. 2, в).

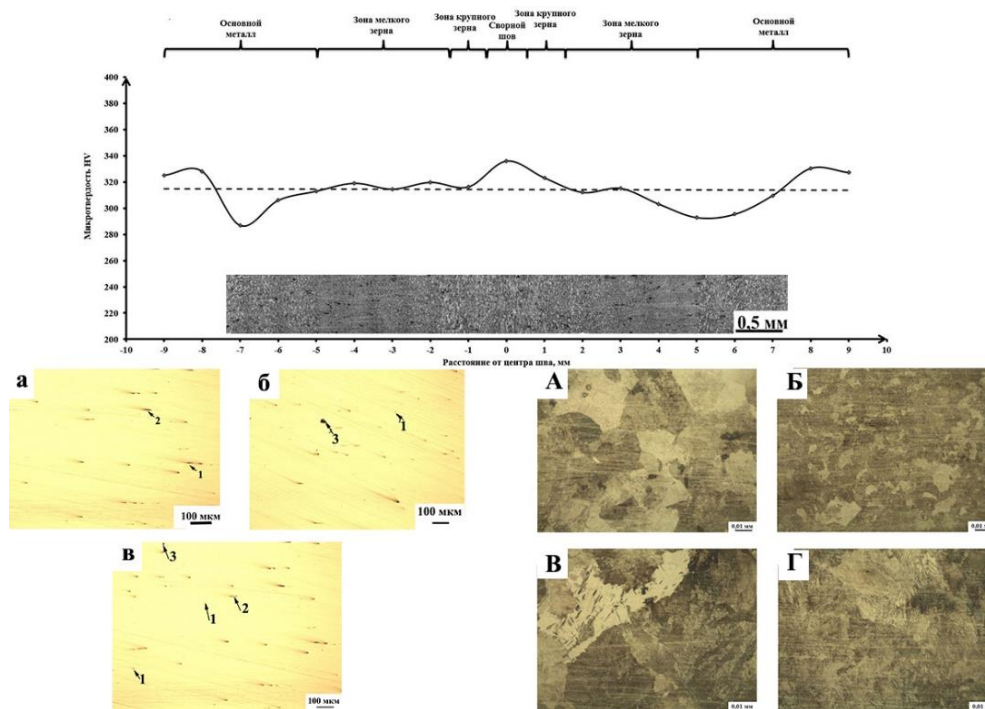


1 – точечные оксиды; 2 – силикаты пластинчатые; 3 – силикаты недеформирующиеся; а – основной металл;  
б – зона термического влияния; в – сварной шов  
А – основной металл; Б – переходная зона; В – зона термического влияния; Г – сварной шов

**Рис. 1. Рельсовая сталь марки Э76ХФ при сварке без дополнительного подвода тепла**

При проведении исследования микроструктуры образца №1 было выявлено наличие в образце характерные зоны, которые при различных режимах имеют различную протяженность и структуру: 1) Основной металл (рис. 2, А); 2) Зона термического влияния (мелкого зерна) (рис. 2, Б); 3) Зона термического влияния (крупного зерна) (рис. 2, В); 4) Зона сварного шва (рис. 2, Г).





1 – точечные оксиды; 2 – силикаты пластинчатые; 3 – силикаты недеформирующиеся; а – основной металл; б – зона термического влияния; в – сварной шов;

А – основной металл; Б – переходная зона; В – зона термического влияния; Г – сварной шов

**Рис. 2. Рельсовая сталь марки 76ХФ при сварке по режиму №1**

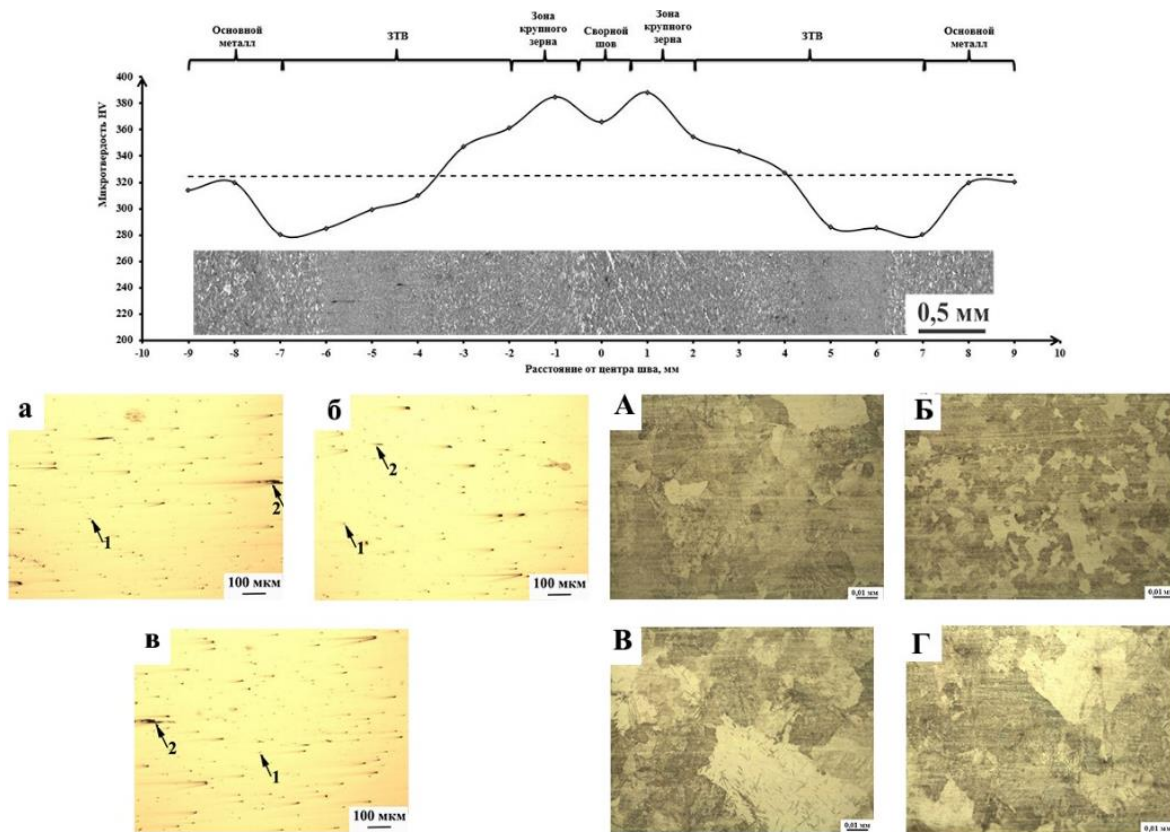
Микроструктура образца стали 76ХФ после сварки контактно-стыковым методом по режиму №1 представляет собой тонко- и мелкопластинчатый перлит с межпластинчатым расстоянием до 0,6 мкм. (рис. 1).

На рис.2 представлен график, изменения микротвердости в зависимости от зоны образца, сваренного по режиму №1. Из графика можно наблюдать, что максимальное значение микротвердости составляет 336,0 HV и является значением сварного шва. Значения микротвердости в зоне термического влияния понижается и среднее значение микротвердости равняется 312,9 HV. Минимальное значение микротвердости находится в зоне основного металла и составляет 286,9 HV. Из приведенных данных можно заключить, что близкие значения микротвердости в различных зонах объясняются схожей структурой.

В макроструктуре образца №4 (рис. 3) наблюдается зона термического влияния протяженностью 7 мм. При исследовании образца №4, выявлено что данный образец является самым чистым образцов по количеству и видам неметаллических включений. В основном металле рельсовой стали (рис. 3, а), как в зоне термического влияния (рис. 3, б) и сварном шве обнаружены (рисунок 5, в) малое количество точечных оксидов (балл №1а), и пластинчатые силикаты (балл № 2б).

Микроструктура образца стали 76ХФ после сварки контактно-стыковым методом по режиму №4 представлена на рис. 3. Для режима №4 в зоне сварного шва наблюдается мартенсит, оценивающийся баллом 4 шкалы 3 ГОСТ 8233. Данный тип мартенсита соответствует мелко игольчатому мартенситу с наибольшей длиной игл 6,0 мкм. Наличие таких структур недопустимо в рельсовом металле.

Распределения полученных значений микротвердости по зонам сварного соединения представлены на рисунке 15. Микротвердость в образце, сваренного по режиму №4 (рисунок 15) возрастает по мере приближения к центру сварного шва. Среднее значение микротвердости в зоне сварного шва составляет 326,7 HV. В остальных областях сварного соединения образец имеет микротвердость, близкую к 318,9 HV. Минимальное значение микротвердости было выявлено на расстоянии 7 мм от сварного шва и равняется 280,56 HV.



1 – точечные оксиды; 2 – пластинчатые силикаты; а – основной металл; б – зона термического влияния; в – сварной шов; А – основной металл; Б – переходная зона; В – зона термического влияния; Г – сварной шов

**Рис. 3. Рельсовая сталь марки Э76ХФ при сварке по режиму №2**

В ходе исследования было определено, что режимы контактной стыковой сварки непрерывным оплавлением не оказали влияние на загрязненность образцов. Распределение микротвердости образца, полученного по режиму №1 в зоне термического влияния, имеет удовлетворительные значения, сопоставимые с основным металлом так же протяженность зоны термического влияния соответствуют требованиям ГОСТ Р 51685-2013. Данный способ электроконтактной сварки можно рекомендовать для применения на производстве, поскольку рельсы, исследуемые в данной работе, отвечают установленным техническим условиям.

*Исследование выполнено в рамках конкурса на создание новых молодежных лабораторий «Научно-исследовательская лаборатория ЭМиОИ»*

#### Список литературы:

1. Исследование структуры сварного соединения рельсовой стали марки Э76Х при различных параметрах изотермической выдержки / К. А. Бутакова [и др.] // Вестник горно-металлургической секции Российской академии наук. Отделение металлургии. – 2018. – № 41. – С. 221-224.
2. Гостевская, А. Н. Исследование влияния параметров контактной стыковой сварки на зону термического влияния рельсов марки Э76ХФ / А. Н. Гостевская // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2021. – № 3(51). – С. 76-81.
3. Металлографическое исследование структуры сварных швов железнодорожных рельсов, полученных контактной стыковой сваркой с последующим контактным подогревом / К. А. Бутакова, А. Н. Гостевская, П. Э. Алимарданов, И. А. Азаренков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19–21 мая 2020 года / Под общей редакцией М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 274-279.
4. Гостевская, А. Н. Металлографические исследования сварных соединений железнодорожных рельсов, полученных методом электроконтактной сварки / А. Н. Гостевская // Актуальные вопросы современной науки: теоретические и практические аспекты : Сборник тезисов Национальной конференции, Новокузнецк, 24 сентября 2020 года. – Новокузнецк: Новокузнецкий институт (филиал) Кемеровского государственного университета, 2020. – С. 149-151.
5. Влияние режимов контактной стыковой сварки на неметаллические включения в металле рельсовой стали Э76ХФ / А. Н. Гостевская, К. А. Бутакова, И. А. Азаренков, П. Э. Алимарданов // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Новокузнецк, 19 – 21 мая 2020 года / Под общей редакцией М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2020. – С. 279-282.