

**СВАРКА, РОДСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНОЛОГИИ
WELDING, RELATED PROCESSES AND TECHNOLOGIES**

Научная статья

УДК 625.143.482

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-14-27

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ СТЫКОВ НА ПРОЧНОСТЬ
СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ РЕЛЬСОВ****Чумачков Илья Игоревич¹,
Коновалов Сергей Валерьевич¹,
Мартынов Михаил Александрович²**¹ Сибирский государственный индустриальный университет² АО ЕВРАЗ ЗСМК

*для корреспонденции: I.I.Chumachkov@yandex.ru

**Информация о статье**

Поступила:

03 сентября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

22 ноября 2024 г.

Принята к публикации:

02 декабря 2024 г.

Опубликована:

05 декабря 2024 г.

Ключевые слова:Сварка, рельсы, контактная
сварка, косина.**Аннотация.**

Увеличение грузонапряженности и развитие высокоскоростного движения по сети железных дорог влечет за собой повышенный износ рельсов. На сегодняшний день рельсовые плети длиной 800 метров изготавливаются в стационарных условиях рельсосварочных предприятий электроконтактным способом сварки. Сварной стык превосходит звеньевую конструкцию и является более совершенным способом соединения рельсов, однако прочность стыка в настоящее время еще не сопоставима с прочностью основного металла рельсов. В процессе эксплуатации металл в зоне стыка деформируется, образуются трещины, приводящие к выкрашиванию головки рельсов, что приводит к более интенсивному развитию дефектов контактно-усталостного характера. При прохождении подвижного состава в определенный момент нагрузка от колеса полностью сосредотачивается в зоне минимальных механических свойств по месту сплавления. Влияние угла наклона шва на прочность сварного соединения при контактной сварке недостаточно изучено. Согласно требованиям нормативной документации, сварка рельсов с косиной не допускается. Тем не менее, изменяя геометрические параметры свариваемых торцов, возможно перераспределение нагрузки в стыке и повышение его прочности. Сварка рельсов типа Р65, категории ДТ350 стали марки 76ХФ производилась на машине контактной сварки МСР-63.01А пульсирующим оплавлением в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК». Исследовали влияние геометрии торцов на прочность сварного соединения при испытании на трехточечный статический изгиб. Оценили влияние геометрии торцов рельсов на изменения процесса сварки для каждого этапа по циклограмме. Зафиксировали перераспределение зоны термического влияния и линии сплавления относительно торцов с классической геометрией, построили графики изменения твердости в области шва. Косое отражение торцов повышает прочность сварного стыка в связи с уменьшением доли шва в сечении приложения нагрузки. Большие выступы увеличивают вероятность пороков сварки.

Для цитирования: Чумачков И.И., Коновалов С.В., Мартынов М.А. Исследование влияния формы стыков на прочность сварного соединения рельсов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 6 (166). С. 14-27. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-14-27, EDN: CJGRRX

Введение

В настоящее время в железнодорожных перевозках наблюдается увеличение скоростей движения и веса подвижного состава, внедрения более мощных локомотивов, более тяжелых инновационных вагонов с повышенными (более 245,17 кН) осевыми нагрузками, что влечет за собой повышенный износ на железнодорожных рельсах, стыковых и болтовых соединениях [1-4]. Перед перевозчиком и производителем стоят задачи сохранения высокой безопасности и повышения эксплуатационной стойкости железных дорог.

В процессе динамического воздействия колеса на рельс при прохождении болтового или сварного стыка головка рельса деформируется. Бесстыковой путь позволяет уменьшить затраты на содержание пути, снизить удельное сопротивление движению, увеличить их срок службы по сравнению со звеньевой конструкцией. Тем не менее зона сварки продолжает являться узким местом верхнего строения пути.

Температурный градиент в процессе сварки и термической обработки образует в сварном стыке участки неоднородных механических свойств. В местах пониженной твердости колесная пара продавлиывает головку рельсов. Данные дефекты классифицируются по коду 46.3 и 46.4 после пропуска гарантийного тоннажа, коду 47.3 и 47.4 до пропуска гарантийного тоннажа и называются «седловинами» в соответствии с Классификатором дефектов рельсов, утвержденным РЖД 23.10.2014 № 2499р. В зоне деформации металл подвержен образованию микротрещин, рост которых способствует развитию выкрашиваний, снижая эксплуатационный ресурс сварного стыка и повышая вероятность разрушения. Помимо

возникновения местной деформации, в процессе эксплуатации сваренных рельсов при прохождении колеса состава по сварному шву вся нагрузка сосредотачивается в области минимальных механических свойств по месту сплавления, и вероятность излома рельсов повышается. В сравнении со звеньевой конструкцией сварка рельсов представляет более совершенный метод соединения [5-8], однако в настоящее время прочность сварного стыка в участках сплавления и зоне термического влияния, ниже прочности основного металла.

Современным и наиболее распространенным способом сварки рельсов в стационарных условиях является контактная сварка с применением пульсирующего оплавления, индукционный способ сварки на территории РФ не применяется, однако получил некоторое развитие в странах ЕС. Качество шва обеспечивается регулированием параметров работы сварочного или закалочного агрегата. Используемые методики обеспечения качества достаточно изучены и развиты [9-16]. Научным сообществом уделяется меньше внимания альтернативным способам повышения качества. Дополнительным управляющим параметром качества может являться изменение геометрических параметров торцов рельсов перед сваркой [17-18], не требующее модернизации сварочной машины.

Влияние косо отраженного сварного шва на прочность сварного соединения рельсов недостаточно изучено. При изменении геометрических параметров торцов нагрузка перераспределяется. Прочность соединения повышается за счет зон основного металла, пересекающих плоскость сосредоточенной нагрузки в зоне сплавления. Тем не менее, согласно техническим требованиям п. 4.1.5

Таблица 1. Химический состав опытных рельсов
Table 1. Chemical composition of experimental rails

	Массовая доля элементов, %														
	C	Mn	Si	Cr	P	S	Al	V	Ni	Cu	Mo	Ti	Nb	Sn	Sb
Требования ТУ 24.10.75.111.-310- 05757676-2019 для стали марки 76ХФ	0,71- 0,82	0,75 1,25	0,25- 0,60	0,20- 0,80	не более			0,03- 0,15	не более						
					0,020	0,020	0,004		0,20	0,20	0,02	0,025	0,04	0,03	0,02
									Σ не более 0,27 %						

Таблица 2. Механические свойства рельсов
Table 2. Mechanical properties of rails

	Твердость по сечению, НВ						Прочностные свойства				Ударная вязкость
Требования ТУ 24.10.75.111.-310- 05757676-2019 для рельсов категории ДТ350	Головка				шейка	подошва	σ_T	σ_B	δ	ψ	KCU+20 °C
	ПКГ	10 мм	10 выкружка	22 мм			Н/мм ²		%		Дж/см ²
	352-401	не менее			341	не более 363	не менее				
							800	1240	9,0	25,0	15
Требования ГОСТ Р 51685 - 2022	352-405	341		321	363	300-363	800	1180	9,0	25,0	15

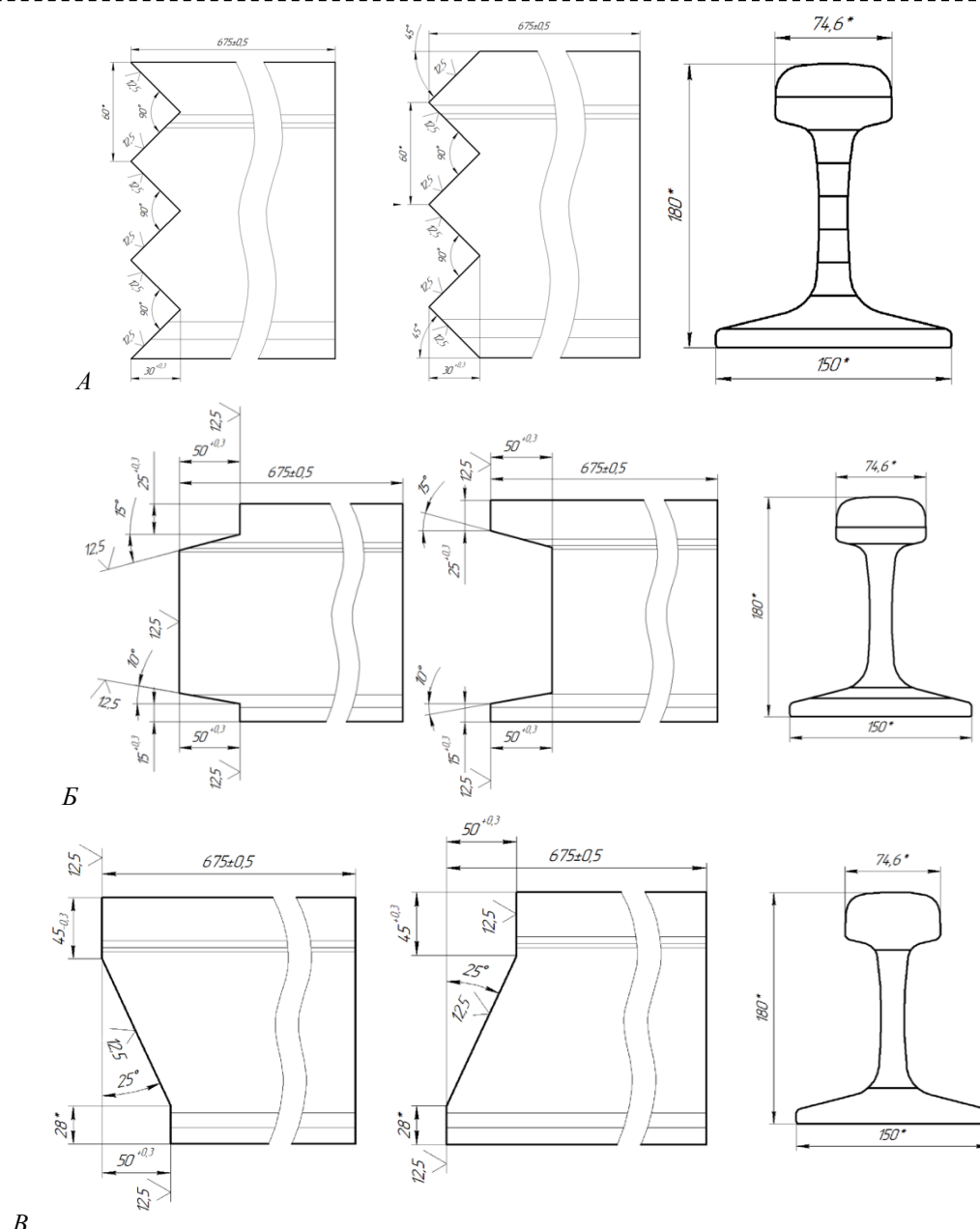


Рис. 1. Принципиальная схема стыковки проб. Стыки с фигурной конфигурацией расположены по всему сечению рельсов типа Р65;

a – в форме пилы, б – паз в шейке, в – косая шейка

Fig. 1. Schematic diagram of sample docking. Joints with a figured configuration are located along the entire cross-section of P65 type rails;

a – saw-shaped, b – groove in the neck, c – oblique neck

ГОСТ 34665-2020, торцы готовых к сварке рельсов должны быть перпендикулярными к продольной оси. Косина торца рельса не должна превышать 1 мм. Требования нормативной документации вносят ограничения при исследовании влияния фигурных торцов на качество сварного стыка – отсутствует апробация результатов или сварка выполнена не на машине контактной стыковой сварки. Вопрос позиционирования рельсов со скосом торцов в сварочной машине и их смещение в процессе сварки в настоящее время не решен. Кроме того,

в процессе эксплуатации характер распространения трещин и последующее разрушение сварного стыка с фигурными торцами требует отдельных дискуссий.

Целью работы явилось исследование влияния геометрии торцов рельсов на прочность при трехточечном нагружении, формирование зоны термического влияния, распределение твердости по глубине в сварных стыках полнопрофильных рельсов с фигурной геометрией торцов после контактной стыковой сварки пульсирующим

Таблица 3. Режимы сварки
Table 3. Welding modes

Параметры сварки	№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, мм	пила	2,0	3,0	2,0	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
	паз в шейке										
	косо отраженная шейкой										
U, %	пила	99	99	60	60	60	60	60	99	99	99
	паз в шейке	99	99	55	55	55	55	55	99	99	99
	косо отраженная шейкой										
V _в , мм/с	пила	1,1	1,6	1,3	1,5	1,6	1,7	1,0	1,1	1,2	1,3
	паз в шейке										
	косо отраженная шейка										

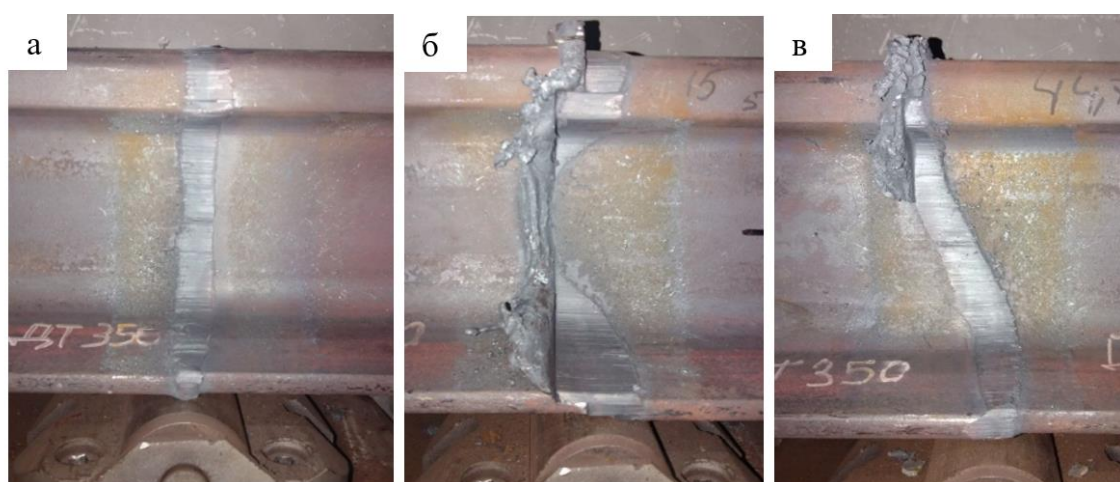


Рис. 2. Позиционирование пуансона на сварных пробах перед испытаниями:

а – в форме пилы, б – паз в шейке, в – косо отраженная шейка

Fig. 2. Positioning the punch on weld samples before testing:

a – saw-shaped, b – groove in the neck, c – oblique neck

Таблица 4. Результаты расчета поперечного сечения стыков опытных и классической конфигурации
Table 4. Results of calculation of the cross-section of joints of experimental and classical configurations

Проба	в форме «пилы» (рисунок 1,а)	паз в шейке (рисунок 1,б)	косая шейка (рисунок 1,в)	торец 90°
Площадь поперечного сечения, мм ²	14189	15029	8498	8261

оплавлением без использования последующей термической обработки.

Методы

Химический состав и механические свойства рельсовых проб, отобранных от рельсов типа Р65 стали марки 76ХФ категории ДТ350 в соответствии с требованиями ТУ 0921-276-01124323-2012 и ГОСТ Р 51685-2022, представлены в Таблицах 1, 2.

Для перераспределения напряжений и изменения доли участков сварного шва в плоскости действия нагрузки использовали опытные конфигурации фигурных торцов, представленные на Рис. 1.

Сварку производили на машине МСР-63.01А в условиях АО «ЕВРАЗ ЗСМК» по одной паре проб для каждой опытной геометрии торцов. Длина проб перед сваркой и обработкой торцов составляла 650 мм. Применяли сопоставимый режим пульсирующего оплавления, соответствующий рекомендуемым значениям, представленным в Таблице 3, где U – напряжение сварки, S и V_в – расстояние и скорость перемещения подвижной колонны. Испытания опытных сварных стыков на статический трехточечный изгиб проводили согласно требованиям стандарта ГОСТ 34665 – 2020 на прессе ПИРС-400М. Термическую

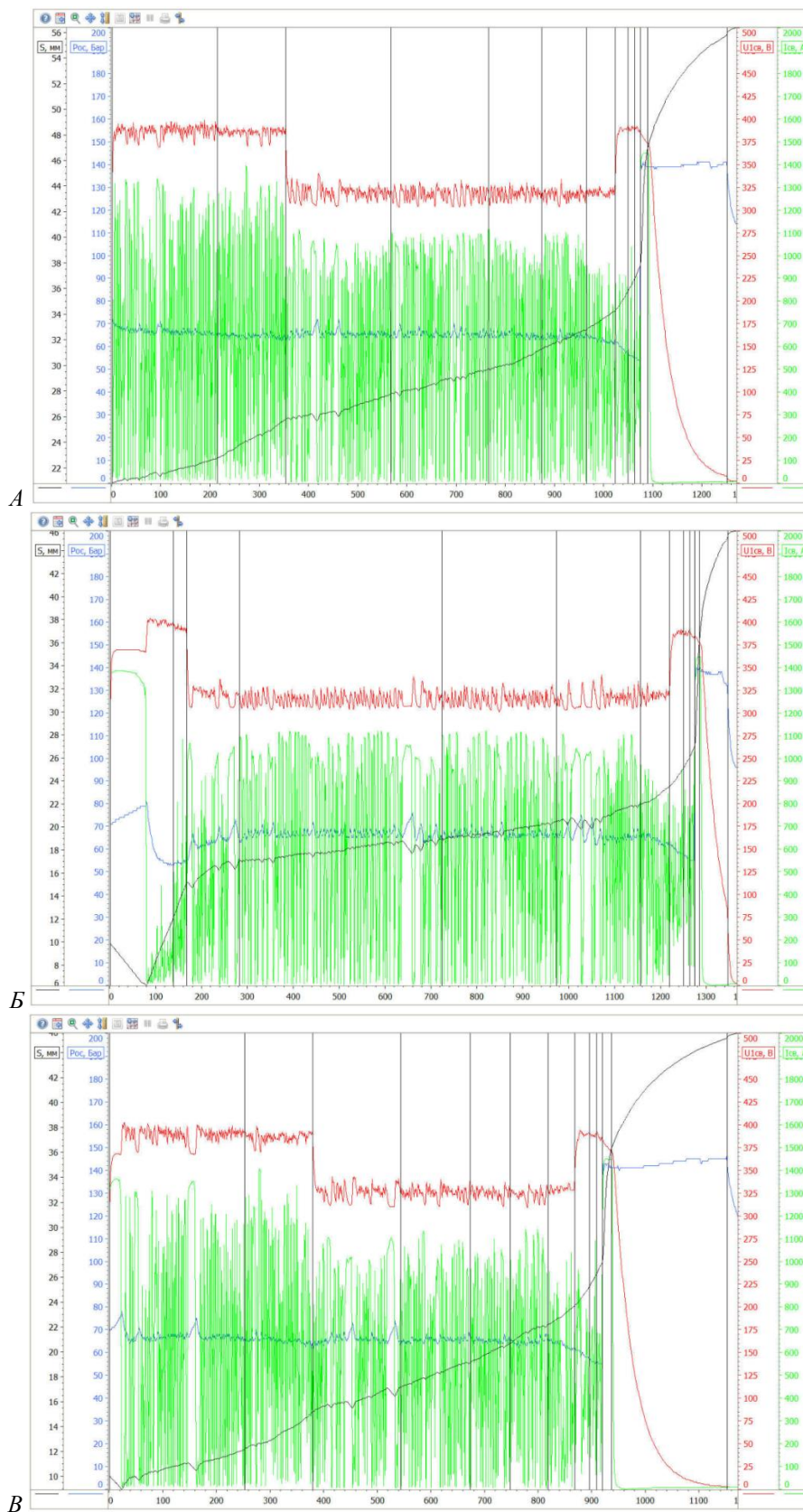


Рис. 3. Циклограммы сварки рельсов с фигурными торцами. S – движение подвижной колонны, Poc – давление осадки, U и I – напряжение и ток сварки соответственно; а – косо отраженная шейка, б – паз в шейке, в – торцы в виде пилы

Fig. 3. Cyclograms of welding rails with figured ends. S – movement of the moving column, Poc – upsetting pressure, U and I – welding voltage and current, respectively; а – beveled neck, б – groove in the neck, в – saw-shaped ends

обработку сварных стыков не проводили. Нагрузку прикладывали к подошве рельса. Пуансон позиционировали по месту сварного шва. Испытания проводили до разрушения пробы (Рис. 2).

Для выявления зоны термического влияния (ЗТВ) разрушенные фрагменты разрезали в продольном направлении и травили в 50%-ом водном растворе соляной кислоты после фрезеровки металла до оси симметрии рельса в вертикальной плоскости.

Измерение протяженности ЗТВ осуществляли на поверхности катания головки, глубине 5 мм и далее через 10 мм до глубины 180 мм. Проводили осевую линию в поперечном направлении от начала зоны термического влияния в головке и измеряли расстояние до начала ЗТВ, а также ее протяженность до излома.

Далее вырезали и изготавливали по два микрошлифа из головки рельса, по одному из шейки и подошвы для каждого макро-образца. На подготовленных шлифах измеряли микротвердость на микротвердомере Qness Q10A+. Результаты измерений HV переводили в HB по DIN EN ISO 50515. Нагрузка на индентор составляла 0,5 кг.

Результаты исследования

Оценивали влияние геометрических параметров торцов на скорость изменения параметров сварки в каждом этапе и итоговую прочность стыка. Для этого рассчитывали площадь поперечного сечения одного торца и сопоставляли с циклограммами сварки, результатами фрактографии. Расчеты площади опытных торцов представлены в Таблице 4, дополнительно включили в анализ стык с классическим торцом 90°.

Из результатов Таблицы 4 видно, что минимальная площадь контакта 8261 мм²

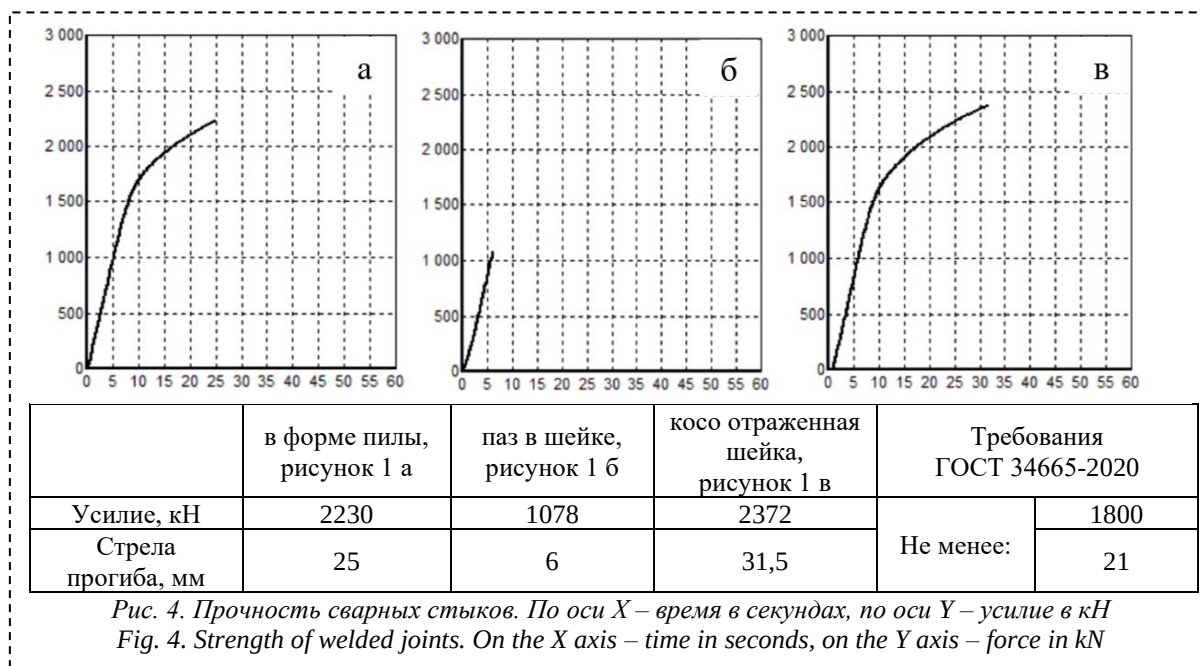
наблюдается у классического торца 90°. Изменение угла наклона торцов приведет к увеличению площади, и как следствие, к уменьшению тепловложения.

Площадь опытной геометрической конфигурации с косо отраженной шейкой составляет 8498 мм². Циклограммы сварки торцов с косо отраженной шейкой и классической конфигурации сопоставимы между собой. Грат снят не полностью, изменения рельефа сохраняются – металл с измененной геометрией не удален в процессе разогрева (Рис. 3а).

Максимальная площадь торца у конфигурации паз в шейке – 15029 мм². Большая площадь контакта должна приводить к существенному снижению сопротивления и тепловложения, однако выступающие участки малого объема были оплавлены крайне интенсивно, о чем свидетельствует циклограмма сварки – этап №1 короче этапа №2 (Рис. 3б).

При сварке стыка в форме «пилы» наблюдается более выраженное пульсирующее оплавление. Площадь контакта 14189 мм², что значительно снижает сопротивление, однако, как и в случае с пазом в шейке, интенсивному оплавлению подвержены краевые области, где энергия концентрируется. Значительная часть нанесенного рельефа была удалена в процессе разогрева (Рис. 3 в).

Результаты испытаний на статический трехточечный изгиб представлены на Рис. 4. Прочность сварного стыка с торцами в виде пилы сопоставима с результатами испытаний рельсов, сваренных с классической конфигурацией торцов без термической обработки, и соответствует требованиям нормативной документации – 2230 кН и при стреле прогиба 25 мм. Минимальная прочность



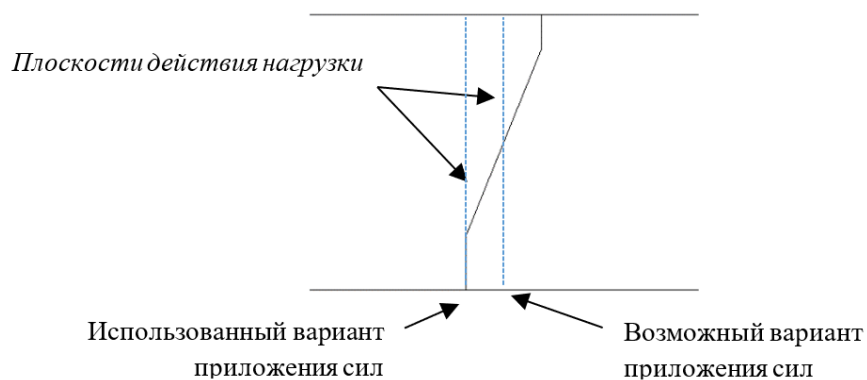


Рис. 5. Возможное позиционирование пуансона при испытании на статический трехточечный изгиб
Fig. 5. Possible positioning of the punch during the static three-point bending test

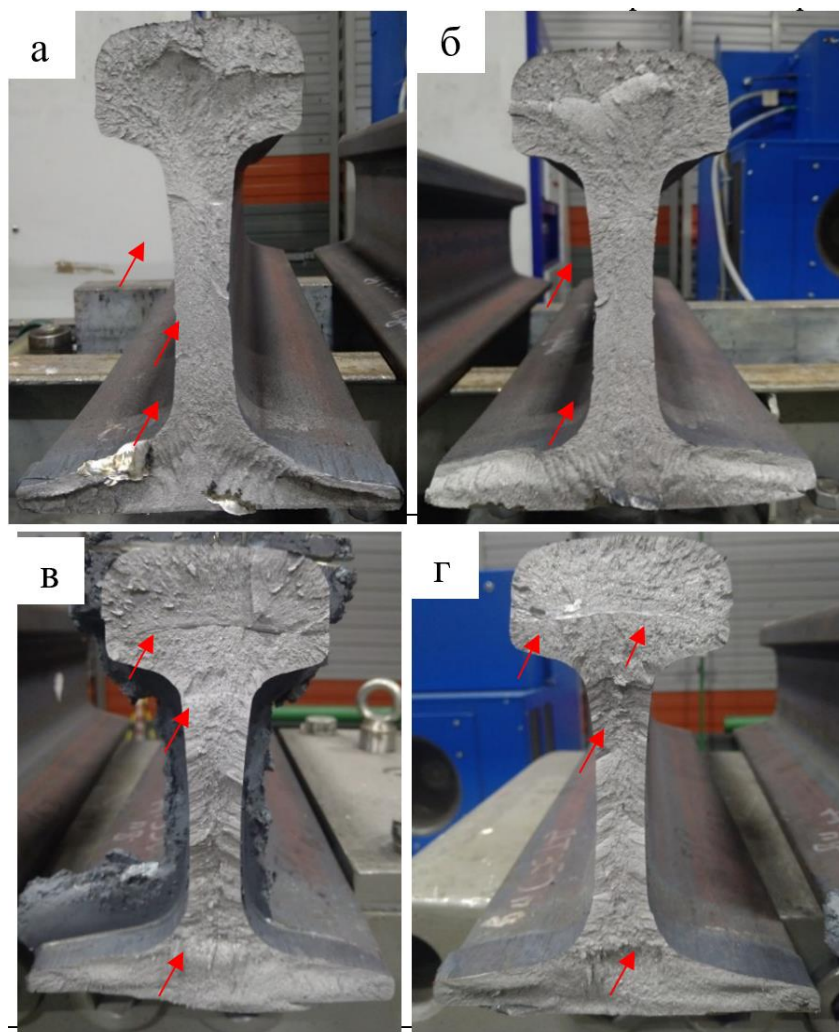


Рис. 6. Результаты испытаний при трехточечном нагружении;
а, б – в форме пилы; в, г – паз в шейке; д, е – косо отраженная шейка.
Стрелками указаны участки несплавления
Fig. 6. Test results under three-point loading;
а, б – saw-shaped; в, г – groove in the neck; д, е – oblique neck.
Arrows indicate areas of non-fusion

наблюдается на пробе с пазом в шейке – 1078 кН со стрелой прогиба 6 мм. Результаты испытаний не соответствуют требованиям регламента.

Прочность сварной пробы с косо отраженной шейкой составляет 2372 кН при стреле прогиба 31,5 мм. Результаты испытания превосходят альтернативные опытные конфигурации и

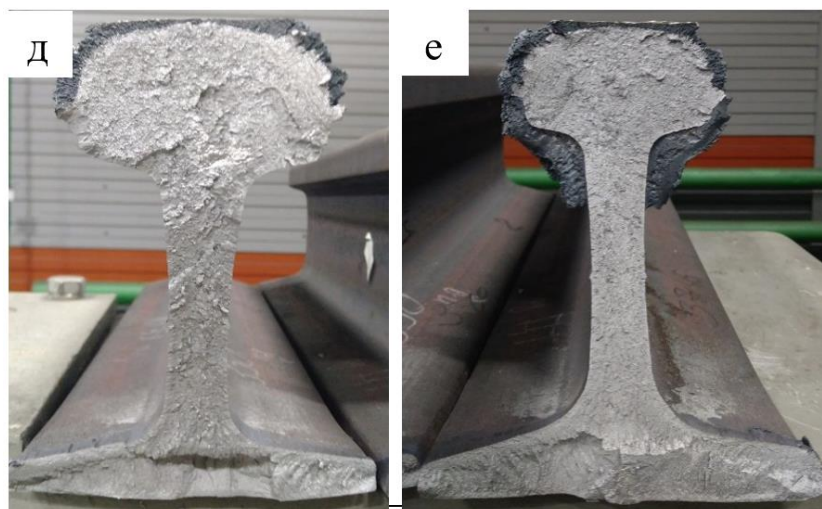


Рис. 6. Продолжение
Fig. 6. Continuation

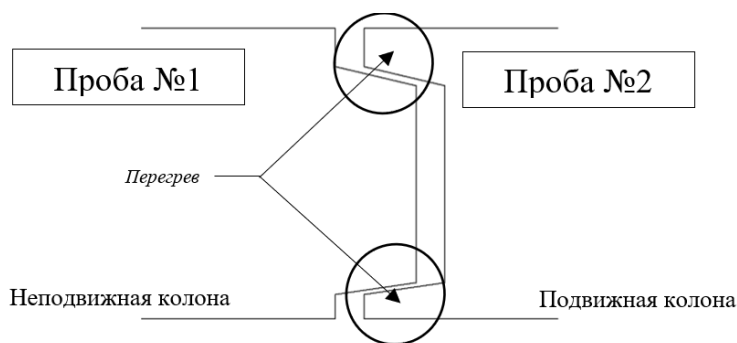


Рис. 7. Очередность возникновения искровых промежутков на фигурных стыках в форме паза в шейке
Fig. 7. The order of occurrence of spark gaps at figured joints in the form of a groove in the neck

превышают требования ГОСТ 34665 – 2020. В процессе испытаний на пробе с косо отраженной шейкой нагрузка была сосредоточена по линии сплавления со стороны подошвы рельса. В плоскости действия поперечных сил, изгибающих моментов и напряжений находились как участки основного металла, так и зоны сварного шва. Изменение точки приложения нагрузки по отношению к перпендикулярному горизонту зонам стыка вызовет перераспределение напряжений вследствие изменения доли участков сварного шва в плоскости действия нагрузки (Рис. 5).

По результатам оценки поверхности излома сварной пробы с торцами в виде пилы в сечении соприкосновения вершин треугольников выявлены участки матовых пятен в виде прерывистых линий, характерных для несплавления по Классификатору дефектов и свидетельствующие о неустойчивом процессе оплавления, недостаточном удалении оксидных пленок из стыка в малых объемах металла (Рис. 6 а, б). Более четкие контуры данного дефекта наблюдаются на изломе пробы с пазом в шейке в связи с крайне интенсивным оплавлением металла в малых объемах по месту головки и

подошвы пробы (Рис. 7). В зоне сварного шва по месту перехода наклонной поверхности в перпендикулярную горизонту шейку выявлена четкая граница несплавления (Рис. 6 в, г).

По месту перегибов сварного шва с фигурной геометрией торцов в виде косо отраженной шейки пороков сварки не наблюдается. При высокой прочности стыка сварочных дефектов не обнаружено. Малые углы при фигурной конфигурации не оказывают значительного влияния на образование пороков сварки (Рис. 6 д, е).

Результаты травления в 50%-ом растворе соляной кислоты представлены на Рис. 7, измерение протяженности зоны термического влияния – на Рис. 8, характерный рельеф обусловлен спецификой фрезеровки поверхности. Замеры протяженности зоны термического влияния представлены на Рис. 9.

Протяженность зоны термического влияния всех сваренных рельсов с различной геометрией торцов находится на сопоставимом уровне – 12-21 мм. На основании полученных измерений на разрушенных фрагментах становится понятно, что изменение площади торцов в диапазоне от 8498 мм² до 15029 мм² не влияет на

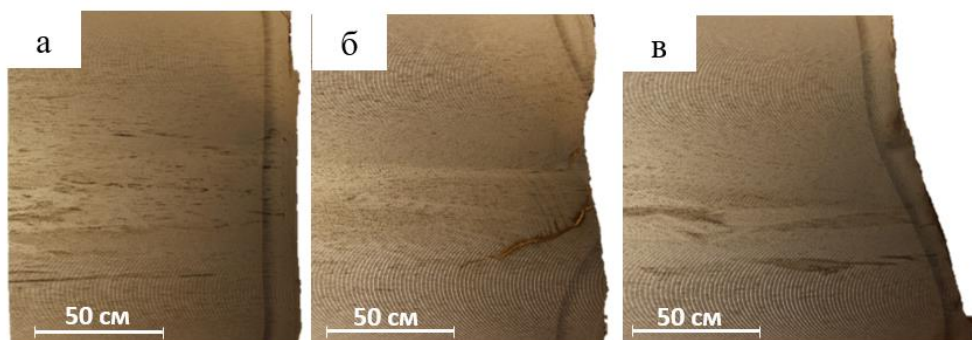


Рис. 8. Макроструктура поперечных темплетов, отобранных по месту сварки рельсов с фигурными торцами, где а – стык в форме пилы; б – стык в виде паза в шейке; в – стык с косо отраженной шейкой

Fig. 8. Macrostructure of transverse templates selected at the site of welding of rails with shaped ends, where a – saw-shaped joint; b – joint in the form of a groove in the neck; c – joint with oblique neck

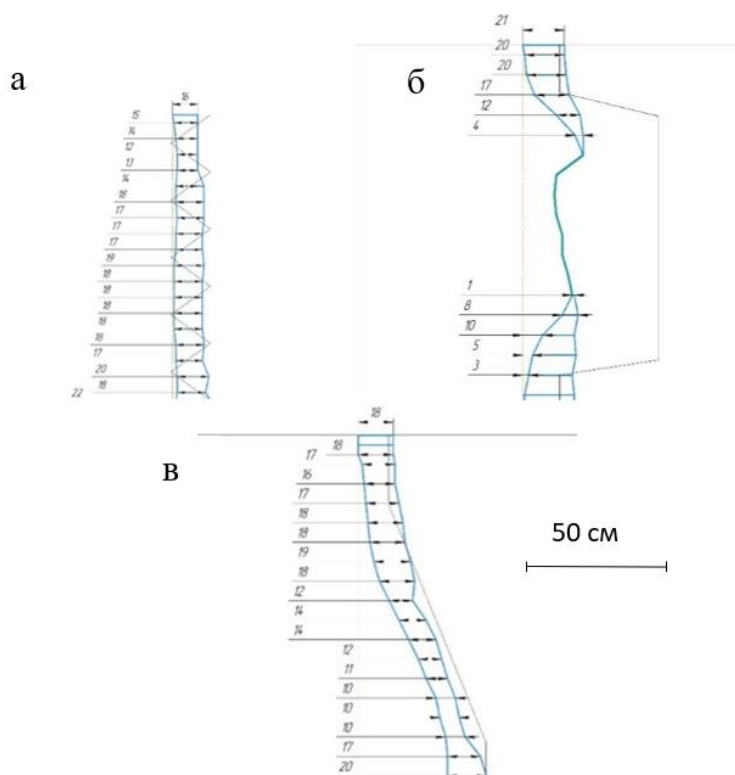


Рис. 9 – Зона термического влияния (синяя линия) и контуры сварных проб (темные линии), где а – стык в форме пилы; б – стык в виде паза в шейке; в – стык с косо отраженной шейкой

Fig. 9 – Heat affected zone (blue line) and contours of welded samples (dark lines), where a – saw-shaped joint; b – joint in the form of a groove in the neck; c – joint with oblique neck

протяженность зоны термического влияния. В местах малого объема металла – головка и подошва пробы №2 (Рис. 5) ее ширина увеличивается.

Карты распределения микротвердости на продольных темплетах после травления в 50%-ом водном растворе соляной кислоты представлены на Рис. 9.

Исходя из данных, представленных на Рис. 9, сопоставимая и сравнительно высокая твердость получена на сварной пробе с фигурными

торцами в виде пилы – в выступающие области произведено одинаковое тепловложение и микротвердость распределена равномерно.

Малые объемы металла на торцах с пазом в шейке были перегреты, однако при сравнении микротвердости с косо отраженной шейкой, где прочность стыка была значительно выше, результаты измерений находятся на сопоставимом уровне. Вероятной причиной наблюдаемого распределения твердости является отбор пробы для определения протяженности

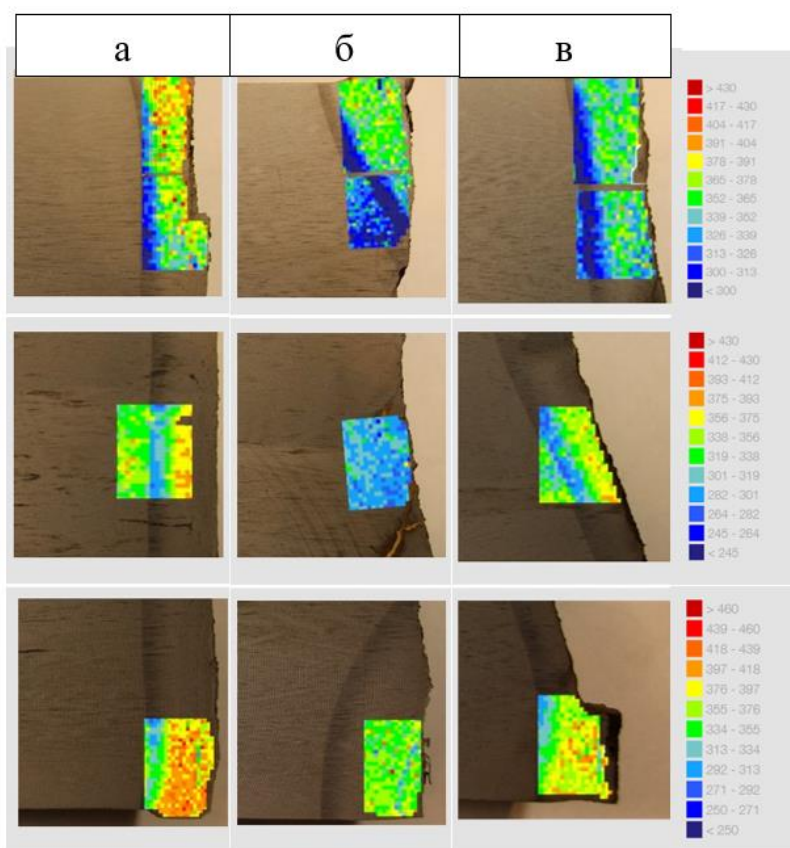


Рис. 9. Зона термического влияния (синяя линия) и контуры сварных проб (темные линии), где а – стык в форме пилы; б – стык в виде паза в шейке; в – стык с косо отраженной шейкой
 Fig. 9. Heat affected zone (blue line) and contours of weld samples (dark lines), where a – saw-shaped joint; b – joint in the form of a groove in the neck; c – joint with oblique neck

зоны термического влияния от рельса выпирающей шейкой, а не частями головки и подошвы.

В сварной пробе с косо отраженной шейкой, область низкой твердости в головке расположена под углом, близким к 90° , что обусловлено отсутствием наклона верхней и нижней части профиля рубки рельса до сварки (Рис. 1 в).

Обсуждение

При испытаниях прочность сварных стыков рельсов, сваренных по технологии, описанной в данной работе, соответствовала требованиям действующих технических условий на сварку рельсов электроконтактным способом. Увеличение прочности сварного шва за счет изменения его геометрии известно и применяется для получения «равнопрочного сварного соединения». Методика используется при сварке ответственных элементов металлоконструкций при дуговых способах сварки, по данным литературного обзора в контактной сварке не применяется из-за возможных проблем позиционирования в сварочной машине, вероятности смещения деталей при осадке, ограничения хода гратоснимателя и перегрева областей малых сечений металла. Раскрой торцов опытного

рельса с косо отраженной шейкой частично подходит под описание равнопрочного сварного стыка, но с ограничениями – секущая плоскость расположена под таким углом, чтобы исключить вероятность аварийной остановки сварочной машины при осадке. Логично предположить, что чем больше угол скоса торцов, тем выше прочность сварного соединения, однако, как показали испытания стыка «в виде паза в шейке», сечения малой площади подвергаются интенсивному перегреву, что снижает качество и прочность сварного стыка. Отдельного внимания требует сварка «стыка в форме пилы», практика первого эксперимента показала прочностные свойства выше требований технических условий на сварку, однако наблюдаемые несплошности по месту излома свидетельствуют о неоптимальных условиях оплавления и формирования сварного стыка в процессе осадки. Для повышения стабильности сварки и более равномерного и управляемого тепловложения по всей площади торца рельса необходимо значительное увеличение количества выступов, их геометрию нужно регулировать с учетом профиля рельса. Результаты исследований по данному

направлению изложены в патенте RU 2809616 С1.

Выводы (Conclusion)

1. При изменении геометрии торцов увеличивается область контакта, приводящая к снижению сопротивления и тепловложения. Тем не менее, по месту выступающих участков в малых объемах концентрируется значительное количество энергии, и металл в этих зонах подвержен значительному оплавлению.

2. Первые искровые перемины возникают по месту выпирающих искусственных участков.

3. Оплавленный металл в зоне выпирающих участков покрывается большим количеством окислов. Создание на поверхности торцов больших и редких выступов повышает вероятность образования пороков сварки. Малые выпирающие участки на торцах не оказывают влияния на образование пороков сварки.

4. Нанесение частых неровностей малого объема может стабилизировать тепловложение на первых этапах сварки. Требуется решение технологической задачи по подготовке таких торцов как в полевых условиях, так и на рельсосварочных предприятиях.

5. Косое отражение торцов повышает прочность сварного стыка в связи с уменьшением доли шва в сечении приложения нагрузки, однако развитый рельеф с углами менее 60 градусов увеличивает вероятность образования пороков сварки, а стандартная рабочая область снятия грата на промышленных машинах контактной сварки не более 50 мм, что должно учитываться при разработке геометрии торцов.

Отдельного обсуждения требует вопрос изменения прочности в зависимости от зоны приложения нагрузки, вероятности расхождения рельсов в сварочном агрегате и характера течения металла в процессе образования седловины в зоне термического влияния, что станет темой исследований следующих работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старовойтов М. М., Ваганова О. Н. Ключевые ориентиры развития путевого комплекса // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 12. С. 2–4. URL: Электронный каталог КриЖТ ИрГУПС.
2. Jing G., Siahkouhi M., Edwards J.R., Dersch M.S., Hoult N.A. Smart railway sleepers – a review of recent developments, challenges, and future prospects // Construction and Building Materials. 2021. № 271. P. 776–778. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121533.
3. Akkerman G.L., Skutina M.A. Control over transverse shifts of rail sleeper lattice which impact on deformation of ballast layer // Procedia Engineering. 2017. № 189. P. 181–185. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.029.
4. Полевой Е.В., Мартынов М.А., Коновалов С.В., Чумачков И.И. Исследование распределения

остаточных напряжений в зоне сварного шва рельсов типа Р65 категории ДТ350 // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2022. № 4 (42). С. 92–99. DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-92-99.

5. Крейнис З.Л., Селезнева Н.Е. Бесстыковой путь. Устройство, техническое обслуживание, ремонт. Москва : Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2012. С. 472.

6. Zerbst U., Lundén R., Edel K.-O., Smith R.A. Introduction to the damage tolerance behaviour of railway rails – a review // Engineering Fracture Mechanics. 2009. Vol. 76. No. 17. P. 2563–2601. DOI: 10.1016/j.engfractmech.2009.09.003.

7. Hang S., Chung L. P., Peter M., Qianhua K., Guozheng K., Wenyi Y. Numerical study on the ratcheting performance of rail flash butt welds in heavy haul operations // International Journal of Mechanical Sciences. 2021. № 199. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2021.106434.

8. Mubarak C. K. A., Upadhyay A. Stability of continuous welded rail on steel bridge subjected to thermal loading // Structures. 2021. No. 34. P. 4524–4531. DOI: 10.1016/j.istruc.2021.10.050;

9. Ермаков В. М. Штайгер М. Г., Янович О. А. Электронный паспорт рельса // Путь и путевое хозяйство. 2016. № 4. С. 13–17. URL: Библиотека УрГУПС (дата обращения: 17.11.2023).

10. Кучук-Яценко С. И., Кривенко В. Г., Дидковский А. В., Швеиц Ю. В., Харченко А. К., Левчук А. Н. Технология и новое поколение оборудования для контактной стыковой сварки высокопрочных рельсов современного производства при строительстве и реконструкции скоростных железнодорожных магистралей // Автоматическая сварка. 2012. № 6 (710). С. 32–40.

11. Штайгер М. Г. Проблемы качества компонентов путевого комплекса // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 12. С. 6–9.

12. Косенко С. А., Акимов С. С. Причины отказов элементов железнодорожного пути на полигоне Западно-Сибирской железной дороги // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 3(42). С. 26–35.

13. Яновский А. С. На сетевой школе в Ростове-на Дону // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 8. С. 2–7.

14. Меркулова Т. В., Рождественский С. А., Рукавчук Ю. П., Шелухин А. А., Этинген И. З. Анализ системы неразрушающего контроля сварных стыков рельсов // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 11. С. 6–9.

15. Шур Е. А. Повреждения рельсов. М. : Интекст, 2012. 192 с.

16. Козырев Н. А., Усольцев А. А., Шевченко Р. А., Крюков Р. Е., Шишкин П. Е. Современные методы сварки рельсов нового поколения // Известия вузов. Черная металлургия. 2017. № 60

(10). С. 785–791. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-10-785-791.

17.Способ контактной рельефной сварки рельсов // Патент РФ № 2778711, 23.08.2022. / Петров С. Ю., Кушнаренко Е.А. URL: https://i.moscow/patents/ru2778711c1_20220823 (дата

обращения: 8.11.2023).

18.Способ контактной рельефной сварки рельсов // Патент РФ № 2777495C1, 04.08.2022. / Орлов С. Е., Печенова Т. П. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2777495C1> (дата обращения: 30.05.2023).

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Чумачков Илья Игоревич, аспирант кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Россия, г. Новокузнецк, Центральный р-н, ул. Кирова, зд. 42.), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4721-6821>, e-mail: I.I.Chumachkov@yandex.ru

Коновалов Сергей Валерьевич, проректор по научной и инновационной деятельности, Сибирский государственный индустриальный университет (654007, Россия, г. Новокузнецк, Центральный р-н, ул. Кирова, зд. 42.), д.т.н., профессор кафедры механики и машиностроения, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660>, e-mail: konovalov@sibsiu.ru

Мартынов Михаил Александрович, главный специалист по сварке, АО «ЕВРАЗ ЗСМК» (654043, Россия, г. Новокузнецк, шоссе Космическое, д. 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9901-6384>, e-mail: Mikhail.Martynov@evraz.com

Заявленный вклад авторов:

Чумачков Илья Игоревич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, проведение эксперимента, обзор соответствующей литературы, написание текста, выводы.

Коновалов Сергей Валерьевич – научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, выводы.

Мартынов Михаил Александрович – обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, проведение эксперимента, обзор соответствующей литературы, выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

STUDY OF THE INFLUENCE OF JOINT SHAPE ON THE STRENGTH OF WELDED RAIL JOINT

Ilya I. Chumachkov¹,
Sergey V. Kononov¹,
Mikhail A. Martynov²

¹Siberian State University

²EVRAZ ZSMK JSC

*for correspondence: I.I.Chumachkov@yandex.ru



Article info

Received:

03 September 2024

Accepted for publication:

22 November 2024

Abstract.

The increase in load capacity and the development of high-speed traffic on the railway network entails increased rail wear. To date, rail lashes with a length of 800 meters are manufactured in stationary conditions of rail welding enterprises by the electric contact welding method. The welded joint is superior to the link structure and is a more advanced way of connecting rails, however, the strength of the joint is currently not comparable to the strength of the base metal of the rails. During operation, the metal in the joint area deforms, cracks form, leading to discoloration of the rail head, which leads to a more intensive development of contact fatigue defects. When

Accepted:
02 December 2024

Published:
05 December 2024

Keywords: Welding, rails,
contact welding, bevel.

passing a rolling stock at a certain moment, the load from the wheel is completely concentrated in the zone of minimum mechanical properties at the place of fusion. The effect of the angle of inclination of the seam on the strength of the welded joint during contact welding has not been sufficiently studied. According to the requirements of the regulatory documentation, welding of rails with a braid is not allowed. Nevertheless, by changing the geometric parameters of the welded ends, it is possible to redistribute the load in the joint and increase its strength. Welding of rails of type R65, category DT350 steel grade 76XF was performed on a contact welding machine MSR-63.01A by pulsating reflow in the conditions of JSC EVRAZ ZSMK. The effect of the geometry of the ends on the strength of the welded joint during the three-point static bending test was investigated. The influence of the geometry of the ends of the rails on the changes in the welding process for each stage was evaluated according to the cyclogram. The redistribution of the zone of thermal influence and the fusion line relative to the ends with classical geometry was recorded, and graphs of hardness changes in the seam area were constructed. Oblique reflection of the ends increases the strength of the welded joint due to a decrease in the proportion of the seam in the cross section of the load application. Large protrusions increase the likelihood of welding defects.

For citation: Chumachkov I.I., Konovalov S.V., Martynov M.A. Study of the influence of joint shape on the strength of welded rail joint. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 6(166):14-27. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-6-14-27, EDN: CJGRRX

REFERENCES

1. Starovoitov M.M., Vaganova O.N. Key guidelines for the development of the track complex. *Track and track management*. 2021;12:2–4. Available at: Electronic catalog of KrIZhT IrGUPS (In Russ.).
2. Jing G., Siahkouhi M., Edwards J.R., Dersch M.S., Hoult N.A. Smart railway sleepers – a review of recent developments, challenges, and future prospects. *Construction and Building Materials*. 2021;271:776–778. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121533;
3. Akkerman G.L., Skutina M.A. Control over transverse shifts of rail sleeper lattice which impact on deformation of ballast layer. *Procedia Engineering*. 2017;189:181–185. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.029;
4. Polevoy E.V., Martynov M.A., Konovalov S.V., Chumachkov I.I. Study of the distribution of residual stresses in the weld zone of rails type P65, category DT350. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*. 2022;4(42):92-99. DOI: 10.57070/2304-4497-2022-4(42)-92-99 (In Russ.).
5. Kreinis Z.L., Selezneva N.E. Seamless path. Installation, maintenance, repair. Moscow: Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport; 2012. 472 p. (In Russ.)
6. Zerbst U., Lundén R., Edel K.-O., Smith R.A. Introduction to the damage tolerance behavior of railway rails – a review. *Engineering Fracture Mechanics*. 2009;76:17:2563–2601. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.engfracmech.2009.09.003.
7. Hang S., Chung L. P., Peter M., Qianhua K., Guozheng K., Wenyi Y. Numerical study on the ratcheting performance of rail flash butt welds in heavy haul operations. *International Journal of Mechanical Sciences*. 2021;199 (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2021.106434.
8. Mubarak C.K.A., Upadhyay A. Stability of continuous welded rail on steel bridge subject to thermal loading // *Structures*. 2021;34:4524–4531. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.istruc.2021.10.050.
9. Ermakov V.M., Steiger M.G., Yanovich O.A. Electronic rail passport. *Track and track management*. 2016;4:13–17. URL: USGUPS Library (accessed 17.11.2023) (In Russ.).
10. Kuchuk-Yatsenko S.I., Krivenko V.G., Didkovsky A.V., Shvets Yu.V., Kharchenko A.K., Levchuk A.N. Technology and new generation of equipment for flash butt welding of high-strength rails of modern production during the construction and reconstruction of high-speed railways. *Automatic welding*. 2012;6(710):32–40. (In Russ.).
11. Steiger M.G. Problems of the quality of components of the track complex. *Track and track management*. 2011;12:6–9. (In Russ.).
12. Kosenko S.A., Akimov S.S. Causes of failures of railway track elements at the West Siberian Railway site. *Bulletin of the Siberian State Transport University*. 2017;3(42):26–35. (In Russ.).
13. Yanovsky A.S. At a network school in Rostov-on-Don. *Path and track management*. 2017;8:2–7.
14. Merkulova T.V., Rozhdestvensky S.A., Rukavchuk Yu.P., Shelukhin A.A., Etingen I.Z. Analysis of the system of non-destructive testing of welded joints of rails. *Track and track management*. 2013;11:6–9.
15. Shur E.A. Damage to rails. M.: Intext; 2012. 192 p. (In Russ.).
16. Kozyrev N.A., Usoltsev A.A., Shevchenko R.A., Kryukov R.E., Shishkin P.E. Modern methods of welding new generation rails. *News of universities. Ferrous metallurgy*. 2017;60(10):785–791. DOI: 10.17073/0368-0797-2017-10-785-791. (In Russ.).
17. Method of contact relief welding of rails. RF Patent No. 2778711, 08/23/2022. / Petrov S.Yu., Kushnarenko E.A. URL: https://i.moscow/patents/ru2778711c1_20220823 (In Russ.).
18. Method of contact relief welding of rails. RF Patent No. 2777495C1, 04.08.2022. / Orlov S.E., Pechenova T.P. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2777495C1> (In Russ.).

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Ilya I. Chumachkov, Professor of the Department of Mechanics and Mechanical Engineering of the Siberian State University (654007, Novokuznetsk, Tsentrally district, 42 Kirov str., Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4721-6821>, email address: I.I.Chumachkov@yandex.ru

Sergey V. Konovalov, Vice-Rector for Research and Innovation, Siberian State Industrial University (654007, Novokuznetsk, Tsentrally district, Kirov str., 42.), Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanics and Mechanical Engineering, at ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4809-8660> e-mail: konovalov@sibsiu.ru

Mikhail A. Martynov, Chief Welding Specialist, EVRAZ ZSMK JSC (654043, Novokuznetsk, Russia, village Kosmicheskoe, 16), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9901-6384> - Yes. Michael.Martynov@evraz.com

Contribution of the authors:

Ilya I. Chumachkov – setting a research task, reviewing relevant literature, conducting an experiment, reviewing relevant literature, writing a text, conclusions.

Sergey V. Konovalov – scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, conclusions.

Mikhail A. Martynov – review of relevant literature, conceptualization of research, data collection and analysis, conducting an experiment, review of relevant literature, conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

