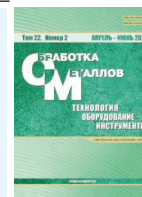




Обработка металлов (технология • оборудование • инструменты)

Сайт журнала: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov

Особенности структуры сварных железнодорожных крестовин, сформированных с использованием стыковой контактной сварки и импульсно-дуговой наплавки

Аэлита Никулина^{1, а,*}, Александра Поречина^{2, б}, Сергей Хлебников^{2, в}, Зинаида Батаева^{3, д},
Владимир Потапов^{4, е}

¹ Новосибирский государственный технический университет, пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, 630073, Россия² АО «Новосибирский стрелочный завод», ул. Аксенова, 7, г. Новосибирск, 630025, Россия³ Сибирский государственный университет водного транспорта, ул. Щетинкина, 33, г. Новосибирск, 630099, Россия⁴ Новосибирский государственный педагогический университет, ул. Вилюйская, 28, г. Новосибирск, 630126, Россия^а  <https://orcid.org/0000-0001-9249-2273>,  a.nikulina@corp.nstu.ru, ^б  <https://orcid.org/0000-0001-5925-6455>,  porechina13@mail.ru,^в  <https://orcid.org/0000-0001-5231-6056>,  khsv0196@yandex.ru, ^д  <https://orcid.org/0000-0001-5027-6193>,  bataevazb@ngs.ru,^е  <https://orcid.org/0000-0001-9461-2064>,  vm_potapov@mail.ru

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

УДК 621.791

История статьи:

Поступила: 05 февраля 2020

Рецензирование: 12 марта 2020

Принята к печати: 15 апреля 2020

Доступно онлайн: 15 июня 2020

Ключевые слова:

Стыковая контактная сварка

Импульсная дуговая наплавка

Разнородные стали

Микроструктура

Сварные железнодорожные крестовины

Благодарности

Структурные исследования выполнены на оборудовании ЦКП ССМ НГТУ.

АННОТАЦИЯ

Введение. Железнодорожные крестовины относятся к ответственным элементам железнодорожного пути. Основная проблема, возникающая при переходе от разъемных соединений крестовин и рельсов к неразъемным с использованием стыковой контактной сварки, заключается в получении соединений, характеризующихся высокой трещиностойкостью. **Цель работы** – повышение механических свойств железнодорожных крестовин, изготовленных сваркой заготовок из стали Гадфильда и рельсовой стали Э76 через промежуточные легированные вставки, путем формирования вставки методом наплавки. **Материалы и методики.** В работе анализировали комбинированные конструкции из стальных заготовок (Э76 и 110Г13Л), соединенные между собой посредством промежуточных вставок с аустенитной структурой. В первом случае литые заготовки вставок из стали 12Х18Н10Т соединялись с заготовками из стали Э76 методом стыковой контактной сварки. Во втором – вставки формировали импульсно-дуговой наплавкой проволоки А7-IG на рельсовые заготовки. Структурные исследования проводили с использованием светового микроскопа Carl Zeiss AxioObserver Z1m и растрового электронного микроскопа Carl Zeiss EVO 50 XVP. Измерения микротвердости осуществляли на микротвердомере Wolpert Group 402 MVD. Для определения прочностных характеристик полученные комбинированные конструкции испытывали по схеме трехточечного изгиба с определением разрушающей нагрузки и стрелы прогиба. **Результаты.** Установлено, что особенностью соединений, полученных методом импульсно-дуговой наплавки проволоки А7-IG на рельсовую сталь Э76, является отсутствие сплошного мартенситного слоя, который приводит к охрупчиванию подобных соединений, полученных стыковой контактной сваркой. В процессе наплавки аустенитно-мартенситная структура формируется в виде прерывистых прослоек вдоль границ сопряжения разнородных материалов. Максимальный уровень микротвердости, соответствующий зонам с кристаллами мартенсита, составляет 680 HV. По сравнению с полностью сварными конструкциями значения разрушающей нагрузки и стрелы прогиба при испытаниях по схеме трехточечного изгиба изделий, в которых промежуточная аустенитная вставка была сформирована импульсно-дуговой наплавкой, возросли примерно на 15 %.

Для цитирования: Особенности структуры сварных железнодорожных крестовин, сформированных с использованием стыковой контактной сварки и импульсно-дуговой наплавки / А.А. Никулина, А.А. Поречина, С.В. Хлебников, З.Б. Батаева, В.М. Потапов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22, № 2. – С. 53–62. – DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-53-62.

Введение

Сварные конструкции, сочетающие в себе элементы, изготовленные из разнородных материалов, благодаря совокупности характерных для них достоинств широко востребованы в современном машиностроении [1]. Частичная замена дорогостоящих материалов обеспечивает

*Адрес для переписки

Никулина Аэлита Александровна, к.т.н., доцент

Новосибирский государственный технический университет
пр. К. Маркса, 20,

630073, г. Новосибирск, Россия

Тел.: 8 (383) 346-11-71, e-mail: a.nikulina@corp.nstu.ru

существенную экономию при производстве изделий различного назначения. Ярким примером комбинированной конструкции, состоящей из разнородных сталей, является сварная железнодорожная крестовина (рис. 1). Ранее при традиционном способе соединения элементов железнодорожного пути массивная крестовина полностью изготавливалась из дорогостоящей стали 110Г13Л. Причины отказа от применявшихся ранее конструкций разъемного типа и перехода на сварные крестовины связаны с негативным влиянием зазоров, вызывающих многократное динамическое воздействие на железнодорожный путь, что является фактором, препятствующим высокоскоростному движению поездов.

Стали Э76 и 110Г13Л, которые сочетаются в сварной крестовине, требуют различных условий охлаждения после высокотемпературного нагрева при сварке. С целью исключения формирования мартенситной структуры охлаждение высокоуглеродистой рельсовой стали должно быть достаточно медленным. Однако такой характер охлаждения изделия приводит к выделению карбидов по границам и внутри зерен высокомарганцовистой стали, что существенно снижает комплекс ее механических свойств [2, 3]. Поэтому на практике сварка элементов из углеродистой стали Э76 и стали Гадфильда производится через промежуточную вставку из хромоникелевой аустенитной стали. Сначала вставку соединяют с рельсовой заготовкой, а затем с крестовиной [4]. После охлаждения конструкции с целью снятия внутренних напряжений

рекомендуется проводить ее высокотемпературный отжиг в течение 3–5 часов. Такой подход позволяет снизить опасность хрупкого разрушения сварного соединения в зоне между рельсовой и хромоникелевой сталью.

В научной литературе и патентных документах [5–11] приводятся различные варианты решений повышения надежности сварных железнодорожных крестовин, связанных с термической обработкой сварных конструкций, с использованием промежуточных вставок, разработкой материалов для изготовления крестовины и рельсов, применением новых способов формирования соединений.

Целью данной работы является повышение механических свойств железнодорожных крестовин, изготовленных сваркой заготовок из стали Гадфильда и рельсовой стали Э76 через промежуточные легированные вставки путем формирования вставки методом наплавки.

Методика экспериментального исследования

В работе анализировали два типа комбинированных конструкций между заготовками из сталей Э76 и 110Г13Л, полученных с использованием промежуточных вставок из высоколегированных сплавов. В первом случае вставки в виде отливок с профилем рельса, изготовленные из стали 12Х18Н10Т, соединяли с заготовками из рельсовой стали Э76 методом стыковой контактной сварки. Во втором случае вставки формиро-

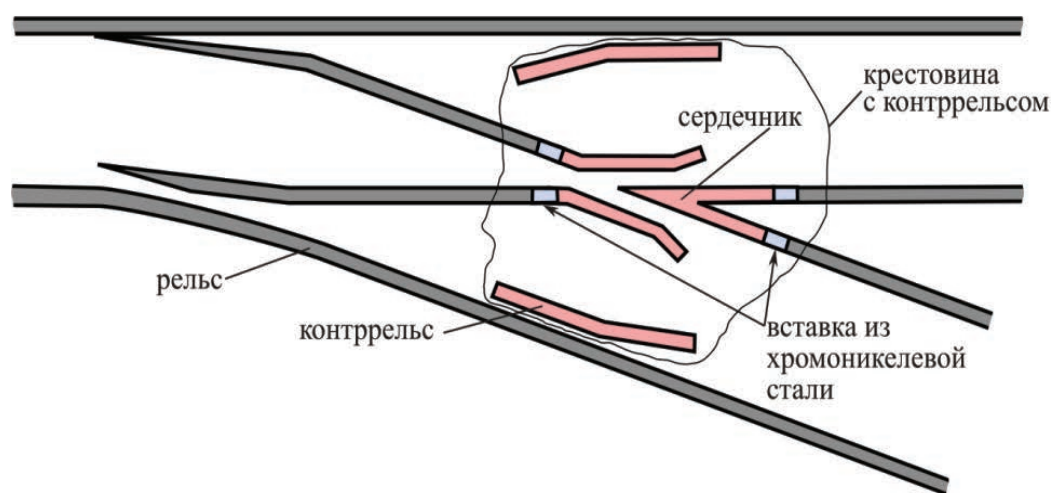


Рис. 1. Схема стрелочного перевода со сварной железнодорожной крестовиной

Fig. 1. Scheme of railroad switch with a welded railway frog

вали по технологии наплавки высоколегированной (Ni, Cr, Mn) проволоки A7-IG на рельсовую заготовку. Химический состав используемых материалов представлен в таблице.

Стыковую контактную сварку заготовок осуществляли на машине НК840.2 при следующих технологических параметрах: номинальное напряжение питающей сети 380 В; номинальная частота 50 Гц; усилие осадки 770 кН; линейная осадка 16 мм; скорость предварительного оплавления 0,1...0,3 мм/с; начальная скорость осадки 25...30 мм/с; продолжительность осадки 3 с. Площадь поперечного сечения заготовок с профилем рельса составляла 12 000 мм². Охлаждение конструкции после сварки выполняли на воздухе.

Импульсно-дуговая наплавка проволоки A7-IG выполнялась на установке РК757-Н в среде Ar + 2 % CO₂. Наплавку осуществляли на торцы рельсов из стали Э76 нанесением последовательно параллельных валиков. При наплавке первых трех слоев ток составлял 160 А, напряжение – 18 В, на последующих четырех слоях – 210 А и 23,3 В соответственно.

После формирования комбинированных конструкций с целью проведения структурных исследований из полученных образцов (рис. 2) по стандартной технологии были изготовлены металлографические шлифы. Для выявления структуры углеродистой стали использовали 3 %-й раствор азотной кислоты в этиловом спирте. Структуру наплавочного слоя выявляли раствором кислот HNO₃ и HCl, содержащихся в пропорции 1 : 3. Структурные исследования проводили с использованием светового микроскопа *Carl Zeiss AxioObserver Z1m* и растрового электронного микроскопа *Carl Zeiss EVO 50 XVP*. Микротвердость материалов оценивали на приборе *Wolpert Group 402 MVD*. Нагрузка на алмазный индентор составляла 0,98 Н.

Для определения прочностных характеристик комбинированные конструкции испытывали по схеме трехточечного изгиба с определением разрушающей нагрузки и стрелы прогиба. Испытания проводили по ОСТ 32.133.97 на АО «Новосибирский стрелочный завод» с использованием прессы МИИМ 2500-К. Схема испытаний представлена на рис. 3.

Химический состав используемых материалов

The chemical composition of the materials used

Материал / Materials	Химический элемент, % (вес.) / Chemical element, wt. %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	P	S	Fe
Э76	0,72	0,78	0,14	–	–	–	0,020	0,012	Осн.
12X18H10T	0,11	0,58	0,53	17,1	9,7	0,38	0,021	0,012	Осн.
A7-IG	0,08	7	0,9	19,2	9	–	0,002	0,002	Осн.
110Г13Л	1,02	15,20	0,76	–	–	–	0,057	0,014	Осн.

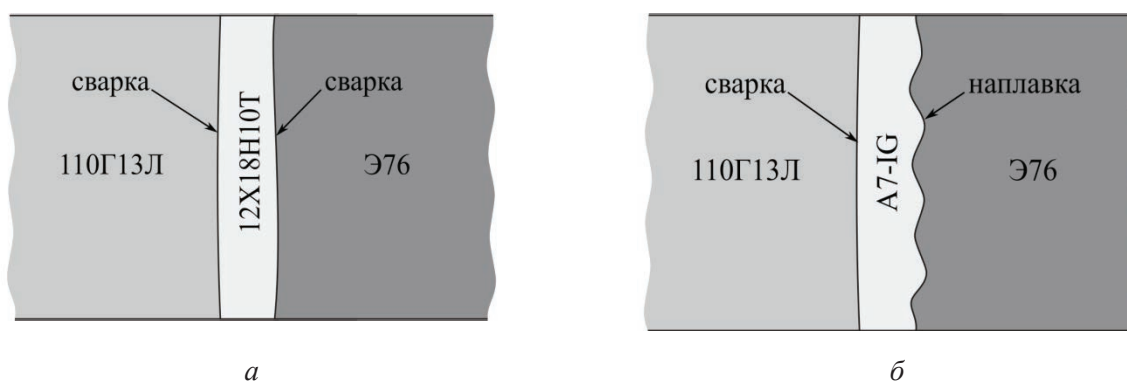


Рис. 2. Схема образцов, полученных с использованием технологии стыковой контактной сварки (а) и комбинацией технологий наплавки и стыковой контактной сварки (б)

Fig. 2. Scheme of samples obtained using only welding (a) and cladding and welding (b)

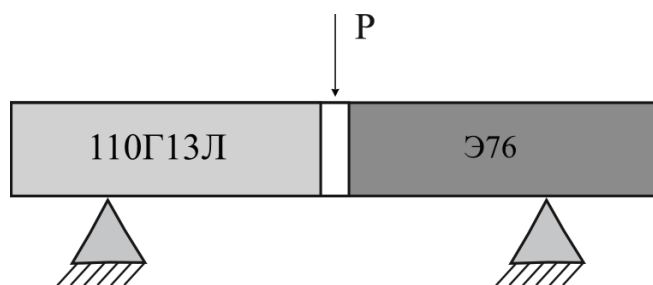


Рис. 3. Схема испытания комбинированной сварной конструкции методом трехточечного изгиба

Fig. 3. The object location in three-point bending test

Результаты и их обсуждение

Анализ выполненных ранее работ [11–18] свидетельствует о достаточно низкой трещиностойкости швов, формируемых при сварке заготовок из сталей Э76 и 12Х18Н10Т. Связано это главным образом с появлением в зонах соединения разнородных материалов переходных слоев, характеризующихся высокой твердостью и хрупкостью. Пример структуры, полученной при стыковой контактной сварке заготовок из аустенитной и перлитной стали, представлен на рис. 4. Со стороны углеродистой стали в сварном

шве возникает ферритно-перлитная структура с локальными зонами, обогащенными легирующими элементами (рис. 4, а). В слое, примыкающем к аустенитной стали, за счет активных диффузионных процессов, развивающихся при сварке, повышено содержание углерода и снижено содержание хрома, никеля и марганца. Результатом этих процессов является образование в сварных швах микрообъемов мартенсита (рис. 4, б). В некоторых случаях объемная доля мартенсита достигает 90 %, которой достаточно для формирования сплошных прослоек толщиной до 0,5 мм.

Появление в пределах сварного соединения зон с аустенитно-мартенситной и ферритной структурой, твердость которых отличается на 400...500 НВ (максимальная микротвердость мартенсита достигает уровня 900 НВ), является причиной формирования высокого уровня внутренних напряжений и снижения релаксационной способности материала сварного шва. Экспериментально установлено, что сплошные мартенситные прослойки, возникающие при стыковой контактной сварке сталей Э76 и 12Х18Н10Т, значительно снижают трещино-

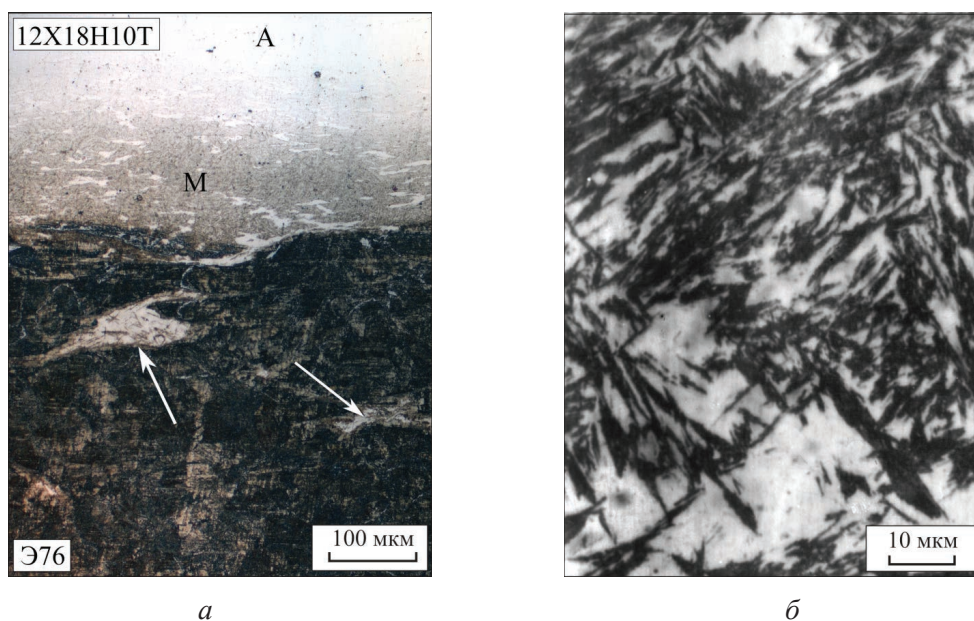


Рис. 4. Микроструктура сварного шва «сталь Э76 – сталь 12Х18Н10Т», полученного методом стыковой контактной сварки:

а – общий вид сварного шва; б – мартенситная прослойка; А – аустенит; М – мартенсит. Стрелками отмечены локальные области, обогащенные легирующими элементами

Fig. 4. The microstructure of the weld “rail transport steel – austenitic grade corrosion resistant stainless steel” obtained by flash butt welding:

а – overview; б – martensitic layer; А – austenite; М – martensite. Arrows indicate local doped regions

стойкость сварных крестовин. Способы ее повышения могут быть основаны на снижении доли высокопрочной составляющей в зоне сварного соединения и уровня твердости образующегося мартенсита.

Техническое решение, предложенное в работе, связано со снижением объемной доли мартенсита в соединении путем изменения технологии изготовления промежуточных вставок. Вместо отливок из стали 12Х18Н10Т, соединяемых с заготовками из стали Э76 методом стыковой контактной сварки, использовали вставки, полученные по технологии наплавки на заготовки из рельсовой стали высоколегированной проволоки с повышенным содержанием марганца. При изготовлении промежуточных вставок методом наплавки уменьшается расход высоколегированного сплава и устраняется необходимость в дополнительной механической обработке изделий. Согласно диаграмме Шеффлера [19] повышение содержания марганца способствует стабилизации аустенитной структуры наплавленного слоя.

Общий вид наплавленных слоев представлен на рис. 5. Граница раздела материалов неровная (рис. 6, а), на некоторых участках наблюдается глубокое проникновение высоколегированного сплава в заготовку из стали Э76. Наплавляемые слои вблизи границ разбавлены железом, поэтому согласно результатам микрорентгеноспектрального анализа содержание легирующих элементов в них меньше, чем в исходной проволоке

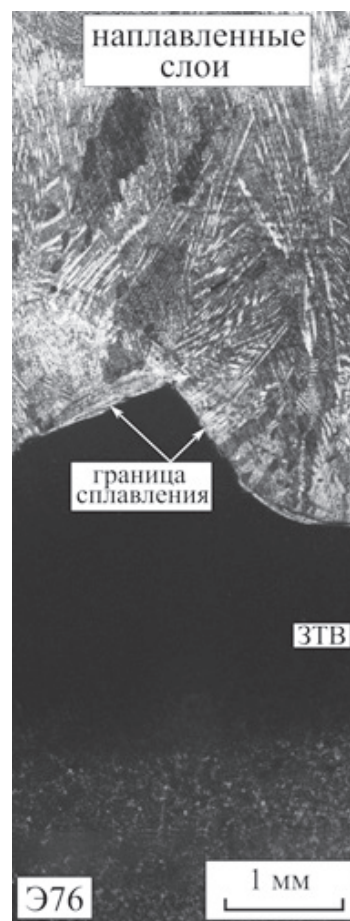
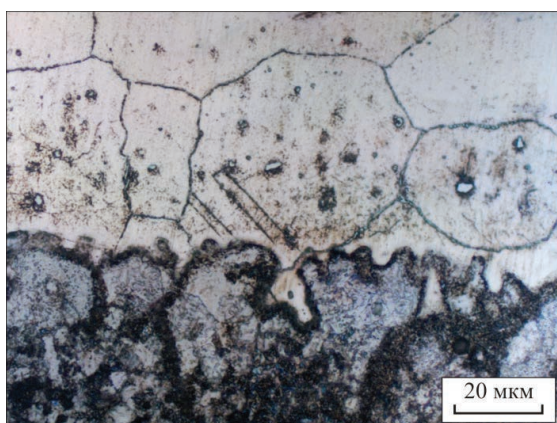
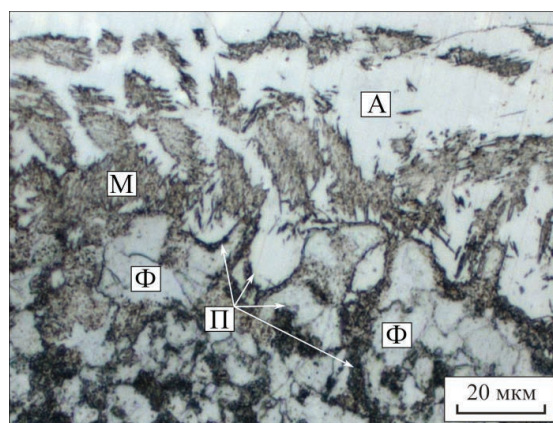


Рис. 5. Общий вид слоев, полученных наплавкой проволоки А7-IG на заготовку из стали Э76

Fig. 5. Overview of the clad layers of the wire A7-IG on high-carbon steel



а



б

Рис. 6. Строение материала вблизи границы сплавления заготовок из разнородных сталей: а – зона без микрообъемов мартенсита; б – структура смешанного типа с микрообъемами мартенсита; А – аустенит; М – мартенсит; П – перлит; Ф – феррит

Fig. 6. The structure of steels near the fusion boundary:

а – without martensite; б – with martensite; А – austenite; М – martensite; П – pearlite; Ф – ferrite

(хром ~ 10 вес. %, никель ~ 4 вес. %, марганец ~ 3,5 вес. %). В некоторых зонах вблизи границ раздела материалов концентрация хрома, никеля и марганца в наплавленных слоях снижается до 5, 3 и 2 % соответственно, что сопровождается образованием мартенсита (рис. 6, б). Особенностью соединений, полученных методом наплавки, является отсутствие сплошных мартенситных прослоек. В пределах переходных слоев объемная доля мартенсита не превышает 10 %.

При реализации технологии импульсно-дуговой наплавки на границе раздела разнородных материалов наблюдается обеднение стали Э76 углеродом, в результате чего возникает структура ферритно-перлитного типа (рис. 6, б). Характерной ее особенностью является формирование мелких перлитных колоний. Такой эффект характерен для зон термического влияния, возникающих при сварке и наплавке низкоуглеродистых сталей. Авторы работы [20] описали особенности строения зоны неполного отжига с различной степенью перекристаллизации структуры при лазерной сварке заготовок из стали 20.

Подобные преобразования реализуются и при наплавке легированной аустенитной стали на заготовки из высокоуглеродистой стали со структурой перлитного типа. В процессе нагрева верхние слои углеродистой стали плавятся и смешиваются с наплавляемым материалом, при этом близлежащие слои стали Э76, находящиеся еще в аустенитном состоянии, обезуглероживаются. При достижении температуры A_{r3} в данных областях начинается формирование новых ферритных зерен. С понижением температуры доля феррита возрастает, а аустенита снижается. При достижении температуры A_{r1} и концентрации углерода в аустените, равной 0,8 %, происходит перлитное превращение. Особенностью формируемого перлита является присутствие в нем дефектных по форме цементитных пластин и карбидов глобулярного типа (рис. 7). Размер зерен α -фазы вблизи границы раздела разнородных материалов достигает 12...15 мкм. Минимальный размер ферритных зерен, возникших в зоне термического влияния, составляет 5 мкм. По мере удаления от границы сплавления в сторону углеродистой стали объемная доля перлита возрастает, и на глубине 70...120 мкм структура материала по соотношению перлита и феррита соответствует исходному строению стали Э76.

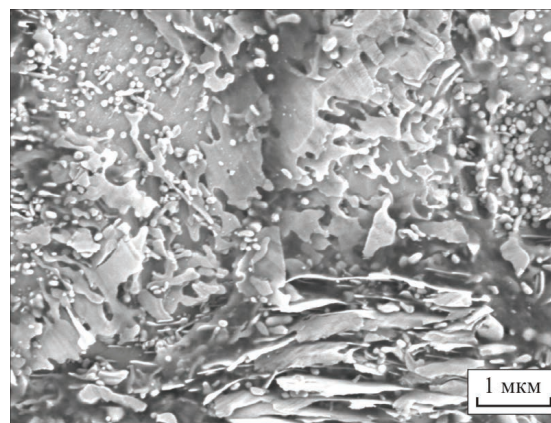


Рис. 7. Цементит в перлитных колониях, зафиксированных вблизи границы сплавления сталей

Fig. 7. Cementite formed during accelerated austenite decompositions

Уровень микротвердости областей наплавленного материала, в которых наблюдаются кристаллы мартенситного типа, может достигать 680 HV. Однако матрица пластичного аустенита, которая окружает микрообъемы мартенсита, обеспечивает эффективную релаксацию остаточных напряжений, что благоприятно отражается на трещиностойкости материала. На границе сплавления разнородных материалов при отсутствии мартенсита перепад по уровню микротвердости составляет менее 100 HV. С позиции формирования остаточных напряжений и обеспечения необходимых показателей трещиностойкости сварных соединений эти значения вполне приемлемы.

Результаты испытаний по схеме трехточечного изгиба сварных конструкций из сталей 110Г13Л и Э76, сваренных с использованием вставок из стали 12Х18Н10Т, свидетельствуют о достаточно низкой прочности полученных материалов. В большинстве случаев разрушение сварных композиций происходит по сварным швам между сталями Э76 и 12Х18Н10Т с формированием низкоэнергетичных неразвитых поверхностей (рис. 8, а). Среднее значение нагрузки, приводящей к разрушению полученных таким образом конструкций, составляет 1280 кН. Стрела прогиба в момент разрушения сварного изделия достигает 17,3 мм. Данные показатели близки к минимальным допустимым значениям, приведенным в техническом регламенте на сварные железнодорожные крестовины (1250 кН, 15 мм).

*a**б*

Рис. 8. Поверхности разрушения сварных соединений после испытаний по схеме трехточечного изгиба:

a – излом конструкции, полученной методом сварки сталей Э76 и 12Х18Н10Т; *б* – излом конструкции, сформированной с использованием технологии наплавки высоколегированной стали

Fig. 8. The fracture surface of welded joints after three-point bending tests:

a – welding; *б* – cladding of austenitic inser

Разрушение конструкций, полученных с использованием промежуточных вставок, которые были сформированы методом импульсно-дуговой наплавки, происходит также преимущественно по границам сплавления (рис. 8, *б*), однако отсутствие сплошных мартенситных прослоек мартенсита обеспечивает более высокие значения разрушающей нагрузки (1465 кН) и стрелы прогиба (20,1 мм). Эти показатели примерно на 15 % выше, чем при использовании литых промежуточных вставок из стали 12Х18Н10Т.

Выводы

1. Особенность структуры слоев, сформированных импульсно-дуговой наплавкой проволоки А7-IG на рельсовую сталь Э76, состоит в отсутствии сплошных мартенситных зон, являющихся основной причиной охрупчивания подобных соединений, получаемых методом стыковой контактной сварки сталей Э76 и 12Х18Н10Т. Объемная доля мартенсита, образующегося при реализации технологии сварки достигает 90 %, при наплавке – не более 10 %.

2. Максимальный уровень микротвердости, соответствующий зонам со структурой мартенситного типа, возникшим при наплавке проволоки А7-IG на рельсовую сталь Э76, составляет 680 HV, что существенно ниже по сравнению с микротвердостью мартенсита, образующегося при реализации технологии стыковой контактной сварки (900 HV).

3. На участках границ сплавления проволоки А7-IG и стали Э76, характеризующихся отсутствием микрообъемов мартенсита, перепад значений микротвердости не превышает 100 HV.

4. Особенностью строения перлитных колоний в зонах термического влияния, образующихся при наплавке высоколегированной проволоки А7-IG на заготовки из стали Э76, является присутствие карбидов глобулярного типа и дефектных по форме цементитных пластин.

5. Отсутствие сплошных мартенситных прослоек в зонах сопряжения разнородных сталей позволяет повысить на 15 % значение разрушающей нагрузки и стрелы прогиба при испытаниях конструкций по схеме трехточечного изгиба.

Список литературы

1. *Готальский Ю.Н.* Сварка разнородных сталей. – Киев: Техника, 1981. – 184 с.
2. *Вороненко В.И.* Износостойкие аустенитные высокомарганцовистые стали // Литейное производство. – 1998. – № 1. – С. 19–22.
3. *He L., Jin Z.H., Lu J.D.* Modulated structures and ordering structures in alloying austenitic manganese steel // *Acta Metallurgica Sinica*. – 2001. – Vol. 14, N 2. – P. 148–152.
4. Патент 1819305 СССР. Способ соединения деталей стрелки / Блумауер Й. – № 5001090; заявл. 19.07.1991; опубл. 30.05.1993.
5. Патент 2129938 Российская Федерация. Способ соединения изделий из высокоуглеродистой стали с изделием из высокомарганцовистой аустенитной стали / Аптекарь Н.М., Белокуров Э.С., Поляков В.Ф., Елсаков Н.Н., Глюзберг Б.Э., Ларкин А.В., Белянцев С.В. – Заявл. 20.05.1998; опубл. 10.05.1999.
6. А. с. 1815071 СССР. Способ контактной стыковой сварки оплавлением / Генкин И.З., Кучук-Яценко С.И., Шур Е.А., Лядов В.В., Синадский Н.А., Путря Н.Н., Богорский М.В., Дусевич В.М., Турбина Л.А., Строев В.С., Радыгин Ю.Н., Горонков Н.Д. – Заявл. 06.09.1990; опубл. 15.05.1993.
7. Патент 2128564 Российская Федерация. Способ соединения изделий из высокоуглеродистой стали с изделием из высокомарганцовистой аустенитной стали / Аптекарь Н.М., Белокуров Э.С., Поляков В.Ф., Айзатулов Р.С., Буймов В.А., Маслаков А.А., Сапрыкин В.А., Никиташев М.В., Чичков В.И., Юшманов Ю.М., Елсаков Н.Н., Ермолаев А.И., Мазур В.Л. – Заявл. 31.12.1996; опубл. 10.04.1999.
8. Patent 04-046686 JP. Joining method of high manganese steel and high carbon steel / Yasushi T. – Publ. date 1992.
9. *Davis D.* The highspeed trains and reliability of railway // *Railway Track and Structures*. – 2001. – N 10. – P. 17–19.
10. *Davis D.* The quality of switches // *International Railway Journal*. – 2002. – N 3. – P. 24–25.
11. Структурные особенности сварного соединения железнодорожных крестовин с рельсами / А.А. Никулина, В.Г. Буров, А.А. Батаев, В.А. Батаев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2007. – № 1 (34). – С. 32–34.
12. Microstructure and fracture behaviour of flash butt welds between dissimilar steels / A.A. Nikulina, A.A. Bataev, A.I. Smirnov, A.I. Popelyukh, V.G. Burov, S.V. Veselov // *Science and Technology of Welding and Joining*. – 2015. – Vol. 20, N 2. – P. 138–144.
13. Welding of high manganese steel to high carbon steel / M.H. Guo, D.C. Shao, Z.G. Dong, J.C. Yang // *Transactions of the China Welding Institution*. – 2002. – Vol. 23. – P. 6–10.
14. Особенности формирования структуры соединений рельсовой стали М76 со сталью 110Г13Л, выполненных контактной стыковой сваркой оплавлением / С.И. Кучук-Яценко, В.И. Швеиц, Г.Н. Гордань, Ю.В. Швеиц, Н.Д. Горонков // *Автоматическая сварка*. – 2006. – № 1. – С. 3–9.
15. Welding high-manganese and carbon steels / N.A. Sinadskii, L.A. Turbina, I.Z. Genkin, B.E. Glyuzberg, V.M. Dusevich, N.V. Bogorskii, N.D. Goronkov // *Welding International*. – 1994. – Vol. 8 (1). – P. 58–61. – DOI: 10.1080/09507119409548546.
16. *Никитин А.С.* Контактная стыковая сварка стали Гадфильда с рельсовой сталью // *Сварочное производство*. – 2000. – № 9. – С. 38–40.
17. Welding of railway rail and high manganese steel frog (Paper 3) / M. Gua, R. Wang, F. Wang, W. Zhang, W. Wu // *Transactions of The China Welding Institution*. – 2002. – N 6. – P. 25–28.
18. *Zhang J., Zhang F.* Microstructures of bond area in stainless steel and ZGMn13 steel flash welding joint // *Acta Metallurgica Sinica (Chinese Letters)*. – 2001. – Vol. 37, N 7. – P. 713–716.
19. *Schaeffler A.L.* Constitution diagram for stainless steel weld metal // *Metal Progress*. – 1949. – Vol. 56, N 11. – P. 680–680b.
20. Особенности формирования сварных швов при лазерной сварке углеродистых сталей / А.М. Оришич, Е.Д. Головин, В.Г. Буров, В.А. Батаев, Ю.В. Афонин, А.Ю. Огнев // *Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты)*. – 2005. – № 4 (29). – С. 13–14.

Конфликт интересов

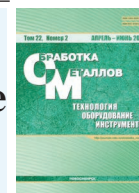
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2020 Авторы. Издательство Новосибирского государственного технического университета. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Obrabotka metallov - Metal Working and Material Science

Journal homepage: http://journals.nstu.ru/obrabotka_metallov



Microstructural Features of Welded Railway Frogs formed by Flash Butt Welding and Pulse-Arc Cladding

Aelita Nikulina^{1, a,*}, *Alexandra Porechina*^{2, b}, *Sergey Khlebnikov*^{2, c}, *Zinaida Bataeva*^{3, d},
Vladimir Potapov^{4, e}

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

² JSC "Novosibirsk switch plant", 7 Aksenova st., Novosibirsk, 630025, Russian Federation

³ Siberian State University of Water Transport, 33 Schetinkina st., Novosibirsk, 630099, Russian Federation

⁴ Novosibirsk State Pedagogical University, 28 Viluiskaya st., Novosibirsk, 630126, Russian Federation

^a <https://orcid.org/0000-0001-9249-2273>, a.nikulina@corp.nstu.ru, ^b <https://orcid.org/0000-0001-5925-6455>, porechina13@mail.ru,
^c <https://orcid.org/0000-0001-5231-6056>, khsv0196@yandex.ru, ^d <https://orcid.org/0000-0001-5027-6193>, bataevazb@ngs.ru,
^e <https://orcid.org/0000-0001-9461-2064>, vm_potapov@mail.ru

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 05 February 2020

Revised: 12 March 2020

Accepted: 15 April 2020

Available online: 15 June 2020

Keywords:

Flash Butt welding
 Impulse arc cladding
 Dissimilar steels
 Microstructure
 Welded Railway Frogs

Acknowledgements

The studies were performed using the equipment of the Common Use Center "Structure, mechanical and physical properties of materials" NSTU.

ABSTRACT

Introduction. Railway crosses (frogs) are important elements of the railway track. In the transition from detachable joints of crosses and rails to permanent connection using butt flash welding, the main problem is to obtain joints characterized by high fracture toughness. **The work purpose** is to increase the mechanical properties of railway frogs made by welding workpieces from Hadfield steel and rail steel through intermediate alloyed inserts forming by cladding. **Materials and methods.** Combined constructions between workpieces made from high-carbon and high-manganese steels through an intermediate chromium-nickel insert are analyzed in the work. In the first case, inserts were connected to the workpieces from high-carbon steel by flash butt welding. In the other case, inserts were formed by pulse-arc cladding of A7-IG wire on rail billets. Structural studies are carried out using light microscope and scanning electron microscope equipped with EDX. Microhardness measurements are made with Wolpert Group 402 MVD tester. To determine the strength characteristics, the resulting combined structures are tested according to the three-point bending scheme with the determination of the fracture load and the deflection. **Results.** It is established that in the joints obtained by pulse-arc cladding of A7-IG wire on rail steel a continuous martensitic layer, which is the main reason for the embrittlement of the joints made by flash butt welding does not appear. The austenite-martensite structure is formed as intermittent layers along the boundaries of dissimilar materials. The maximum microhardness level corresponding to martensitic zones is 680 HV. Three-point bending testing showed that structures in which the intermediate austenitic insert is formed by pulsed-arc cladding, the breaking load and the maximal deflection increased by about 15 % comparing with joints fully made by welding.

For citation: Nikulina A.A., Porechina A.A., Khlebnikov S.V., Bataeva Z.B., Potapov V.M. Microstructural features of welded railway frogs formed by flash butt welding and pulse-arc cladding. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2020, vol. 22, no. 2, pp. 53–62. DOI: 10.17212/1994-6309-2020-22.2-53-62. (In Russian).

References

1. Gotal'skii Yu.N. *Svarka raznorodnykh stalei* [Dissimilar steels welding]. Kiev, Tekhnika Publ., 1981. 184 p.
2. Voronenko V.I. Iznosostoikiye austenitnye vysokomargantsovistye stali [Wear-resistant austenitic high manganese steels]. *Liteinoe proizvodstvo = Foundry. Technologies and Equipment*, 1998, no. 1, pp. 19–22.

* Corresponding author

Saprykina Natalia A., Ph.D. (Engineering), Associate Professor
 Yurga Institute of Technology,
 26 Leningradskaya st.,
 652055, Yurga, Russian Federation
E-mail: nat_anat_sapr@mail.ru

3. He L., Jin Z.H., Lu J.D. Modulated structures and ordering structures in alloying austenitic manganese steel. *Acta Metallurgica Sinica*, 2001, vol. 14, no. 2, pp. 148–152.
4. Blumauer J. *Sposob soedineniya detalei strelki* [Method for joining parts with switch]. Patent USSR, no. 1819305, 1993.
5. Aptekar' N.M., Belokurov E.S., Polyakov V.F., Elsakov N.N., Glyuzberg B.E., Larkin A.V., Belyantsev S.V. *Sposob soedineniya izdelii iz vysokouglerodistoi stali s izdeliem iz vysokomargantsovistoi austenitnoi stali* [Method of joining articles from high-carbon steel with article from highmanganese austenitic steel]. Patent RF, no. 2129938, 1999.
6. Genkin I.Z., Kuchuk-Yatsenko S.I., Shur E.A., Lyadov V.V., Sinadskii N.A., Putrya N.N., Bogorskii M.V., Dusevich V.M., Turbina L.A., Stroev V.S., Radygin Yu.N., Goronkov N.D. *Sposob kontaktnoi stykovoi svarki oplavleniem* [Contact flash-butt welding method]. Inventor's Certificate USSR, no. 1815071, 1993.
7. Aptekar' N.M., Belokurov E.S., Polyakov V.F., Aizatulov R.S., Buimov V.A., Maslakov A.A., Saprykin V.A., Nikitashev M.V., Chichkov V.I., Yushmanov Yu.M., Elsakov N.N., Ermolaev A.I., Mazur V.L. *Sposob soedineniya izdelii iz vysokouglerodistoi stali s izdeliem iz vysokomargantsovistoi austenitnoi stali* [The method of connecting products from high carbon steel with a product from high manganese austenitic steel]. Patent RF, no. 2128564, 1999.
8. Yasushi T. *Joining method of high manganese steel and high carbon steel*. Patent JP, no. 04-046686, 1992.
9. Davis D. The highspeed trains and reliability of railway. *Railway Track and Structures*, 2001, no. 10, pp. 17–19.
10. Davis D. The quality of switches. *International Railway Journal*, 2002, no. 3, pp. 24–25.
11. Nikulina A.A., Burov V.G., Bataev A.A., Bataev V.A. Strukturnye osobennosti svarnogo soedineniya zhelezodorozhnykh krestovin s rel'sami [Structural features of welded joint between railway crossings and rails]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2007, no. 1 (34), pp. 32–34. (In Russian).
12. Nikulina A.A., Bataev A.A., Smirnov A.I., Popelyukh A.I., Burov V.G., Veselov S.V. Microstructure and fracture behaviour of flash butt welds between dissimilar steels. *Science and Technology of Welding and Joining*, 2015, vol. 20, no. 2, pp. 138–144.
13. Guo M.H., Shao D.C., Dong Z.G., Yang J.C. Welding of high manganese steel to high carbon steel. *Transactions of the China Welding Institution*, 2002, vol. 23, pp. 6–10.
14. Kuchuk-Yatsenko S.I., Shvets V.I., Gordan G.N., Shvets Yu.V., Goronkov N.D. Features of formation of structure of joints of rail steel M76 to steel 110G13L made by flash-butt welding. *Paton Welding Journal*, 2006, no. 2, pp. 2–8. Translated from *Avtomaticheskaya svarka*, 2006, no. 1, pp. 3–9.
15. Sinadskii N.A., Turbina L.A., Genkin I.Z., Glyuzberg B.E., Dusevich V.M., Bogorskii N.V., Goronkov N.D. Welding high-manganese and carbon steels. *Welding International*, 1994, vol. 8 (1), pp. 58–61. DOI: 10.1080/09507119409548546.
16. Nikitin A.S. Flash welding Hadfield steel to rail steel. *Welding International*, 2001, vol. 15, no. 3, pp. 217–219. DOI: 10.1080/09507110109549344. Translated from *Svarochnoe proizvodstvo*, 2000, no. 9, pp. 38–40.
17. Gua M., Wang R., Wang F., Zhang W., Wu W. Welding of railway rail and high manganese steel frog (Paper 3). *Transactions of the China Welding Institution*, 2002, no. 6, pp. 25–28.
18. Zhang J., Zhang F. Microstructures of bond area in stainless steel and ZGMn13 steel flash welding joint. *Acta Metallurgica Sinica (Chinese Letters)*, 2001, vol. 37, no. 7, pp. 713–716.
19. Schaeffler A.L. Constitution diagram for stainless steel weld metal. *Metal Progress*, 1949, vol. 56, no. 11, pp. 680–680b.
20. Orishich A.M., Golovin E.D., Burov V.G., Bataev V.A., Afonin Yu.V., Ognev A.Yu. Osobennosti formirovaniya svarnykh shvov pri lazernoi svarke uglerodistykh staley [Features of the formation of welds in laser welding of carbon steels]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science*, 2005, no. 4 (29), pp. 13–14. (In Russian).

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2020 The Authors. Published by Novosibirsk State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).