

КОНТАКТНАЯ СТЫКОВАЯ СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ РЕЛЬСОВ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, А. В. ДИДКОВСКИЙ, В. И. ШВЕЦ, П. М. РУДЕНКО, Е. В. АНТИПИН

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

На железных дорогах Украины в последнее пятилетие производится укладка высокопрочных рельсов нового поколения типа Р65 марки стали К76Ф производства комбината ПАО «МК «Азовсталь», а также высокопрочных рельсов типа Р65 марки стали 76Ф производства РФ с их сваркой в бесстыковые пути. В ИЭС проведены всесторонние исследования свариваемости этих рельсов контактным способом с целью разработки промышленных технологий их сварки. При сварке всех исследованных партий высокопрочных рельсов требуемые показатели механических свойств сварных соединений получены на режимах сварки, отличающихся низким энерговыделением, в 1,5...2,0 меньше, чем при сварке рельсов предыдущих поколений. Разработана технология сварки пульсирующим оплавлением, обеспечивающая высококонцентрированный нагрев и формирование качественных соединений высокопрочных рельсов различного производства, также разработано новое поколение машин для контактной сварки высокопрочных рельсов в стационарных и полевых условиях. Библиогр. 10, рис. 11, табл. 3.

Ключевые слова: контактная сварка, оплавление, железнодорожные рельсы, высокопрочные рельсы, пульсирующее оплавление, непрерывное оплавление, дефекты в рельсах, контроль качества, бесстыковой путь

Все больше на железных дорогах Украины используется укладка высокопрочных рельсов нового поколения с их сваркой в бесстыковые пути. Преимущественно применяются высокопрочные рельсы Р65 из стали марки К76Ф производства комбината ПАО «МК «Азовсталь», а также высокопрочные рельсы

Р65 из стали марки 76Ф производства РФ. В ИЭС проведены всесторонние исследования свариваемости этих рельсов контактным способом с целью разработки промышленных технологий их сварки. При этом исследовали также свариваемость современных высокопрочных рельсов R350HT, выпускае-

Таблица 1. Химический состав стали рельсов различных производителей и марок

Марка стали (страна)	Химический состав, мас. %				
	C	Mn	Si	V	Ti
К76Ф (Украина)	0,71...0,82	0,80...1,30	0,25...0,45	0,03...0,07	-
76Ф (РФ)	0,71...0,82	0,75...1,05	0,25...0,45	0,03...0,15	-
ВС-350Я 350ЛДТ (Япония)	0,72...0,82	0,7...1,2	0,35...1,0	0,01	0,025
R350HT (Австрия)	0,72...0,82	0,15...0,60	0,65...0,75	0,03	-

Продолжение табл. 1.

Марка стали (страна)	Химический состав, мас. %				Механические свойства		
	Cr	P	Al	S	Временное сопротивление σ_v , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Твердость <i>HB</i>
К76Ф (Украина)	-	0,035	0,015	0,045	1196	800	341...388
76Ф (РФ)	-	0,025	0,02	0,03	1280	870	370...409
ВС-350Я 350ЛДТ (Япония)	0,3...0,7	0,025	0,005	0,02	1240	860	362...400
R350HT (Австрия)	0,15	0,025	0,004	0,03	1175	840	350...390

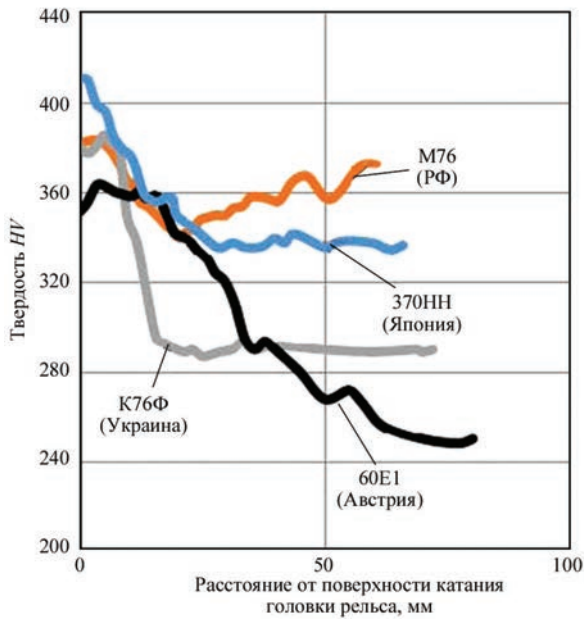


Рис. 1. Распределение твердости в основном металле рельсов в вертикальной плоскости

мых известными фирмами «Voestalpine Schienen GmbH» (Австрия), и рельсы ВС-350Я 350ЛДТ «Nippon Steel» (Япония). В табл. 1 приведен химический состав и механические свойства перечисленных сталей.

При изготовлении всех исследуемых рельсов используются современные технологии конвертерного производства с непрерывной разливкой стали и непрерывной прокаткой.

В рельсах из стали К76Ф используется дифференцированная, а из стали 76Ф объемная закалка. Твердость закаленного по поверхности

головки рельса из стали К76Ф слоя составляет HV 374...401 (рис. 1), глубина закаленного слоя различная и составляет от 7 до 15 мм. Твердость базового материала находится в пределах HV 250...300. Микроструктура всех приведенных в табл.1 рельсовых сталей сорбитная, выделения свободного феррита практически отсутствуют (рис. 2). Характерной особенностью заэвтектоидной рельсовой стали ВС-350Я является наличие вдоль границ первичных аустенитных зерен, выделений карбида железа. Необходимо отметить, что рельсы производства R350HT отличаются крупным первичным аустенитным зерном — оценочно балл зерна 3...4. Несколько ниже размер аустенитных зерен рельсов К76Ф. Структура стали для рельсов ВС-350Я и 76Ф более мелкозернистая — балл их аустенитного зерна составил 5...6.

Режимы сварки при непрерывном оплавлении (НО) определяются программами изменения основных параметров, приведенных для рельсов Р65 в работе [1, 2]. В качестве основного параметра, определяющего энергозатраты, принята длительность оплавления, которая для рельсов Р65 составляет 180 с. Сварку контрольных партий рельсов в количестве 10 шт. выполняли на стационарной машине К1000, а также на мобильной машине К922 (обе машины конструкции ИЭС им. Е. О. Патона, изготовлены на заводе ПАТ «КЗЭСО»). Сваренные образцы рельсов длиной 1,22 м после удаления грата испытывали на статический механический изгиб по стандартной методике, принятой в мировой практике [3]. Металлографические исследования сварных соединений проводили на световом микроскопе «Неофот 32»,

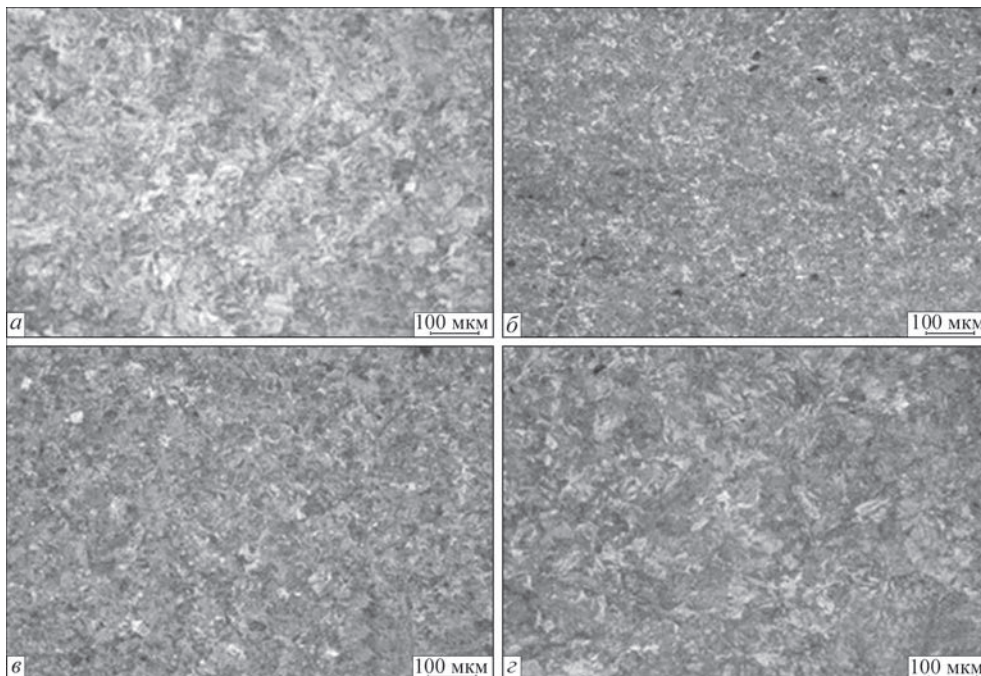


Рис. 2. Микроструктура основного металла рельсовой стали: а — К76Ф (ПАО «МК «Азовсталь», Украина); б — 76Ф («Евраз» НТМК, ЗСМК, РФ); в — ВС-350Я 350 ЛДТ («Nippon Steel», Япония); г — R350HT («Voestalpine Schienen GmbH», Австрия)

Таблица 2. Результаты испытаний на статический механический изгиб различных марок партий рельсов, сваренных на разных режимах

Номер режима	Стандарт и марка стали	Время сварки	Разрушающая нагрузка, кН	Стрела прогиба, мм	Примечание	
	Украины		160	≥30		ТУ У 24.1-40075815-002:2016
	РФ		210	≥27		СТО РЖД 1.08.002-2009
	Евростандарт		160	≥20		EN 14587-1:2007 E
1	К76Ф	180 ... 200	$\frac{1750...2100}{2100}$	$\frac{17...32}{20}$	НО	
2	К76Ф	130 ... 140	$\frac{1800...2000}{1900}$	$\frac{14...30}{19}$	НО	
3	К76Ф	70...80	$\frac{2150...2400}{2250}$	$\frac{35...55}{40}$	ПО	
4	К76Ф	30...40	$\frac{1750...2000}{1950}$	$\frac{25...35}{28}$	ПО	
5	К76Ф	70...80	$\frac{2000...2300}{2150}$	$\frac{35...45}{38}$	ПО	
5	76Ф	70...80	$\frac{2300...2600}{2450}$	$\frac{30...46}{38}$	ПО	
5	BC-350Я	70...80	$\frac{2620...2660}{2650}$	$\frac{32...40}{40}$	ПО	
5	R350HT	70...80	$\frac{2770...3050}{3000}$	$\frac{58...66}{60}$	ПО	

а фрактографические исследования и микрорентгеноспектральный анализ поверхности излома — на Оже-микросзонде JAMP 9500F фирмы «JEOL» (Япония). Предварительно были сварены партии рельсов из стали 76Ф (РФ) с использованием технологии сварки НО [4]. Такая технология успешно применяется на железных дорогах Украины, стран СНГ и других стран, где используется рельсосварочное оборудование, разработанное в ИЭС. При этом обеспечиваются требуемые показатели механических свойств сварных стыков неупрочненных рельсов.

Для сварных соединений высокопрочных рельсов минимальные значения разрушающих на-

грузок и стрел прогиба, установленных ТУ, приведены в табл. 2. В табл. 2 (режим 2) приведены результаты испытаний на статический изгиб партии высокопрочных рельсов, сваренных НО. Как видно из приведенных данных, разрушающая нагрузка при испытаниях соответствует нормативным требованиям, а показатели прогиба значительно ниже. На поверхности излома швов не обнаружены дефекты. По линии соединения и примыкающим слоям металла наблюдается крупнозернистая структура первичных аустенитных зерен (рис. 3, а), балл зерна 2...3. По границам зерен первичного аустенита четко наблюдается сплошная сетка ферритных выделений, что свиде-

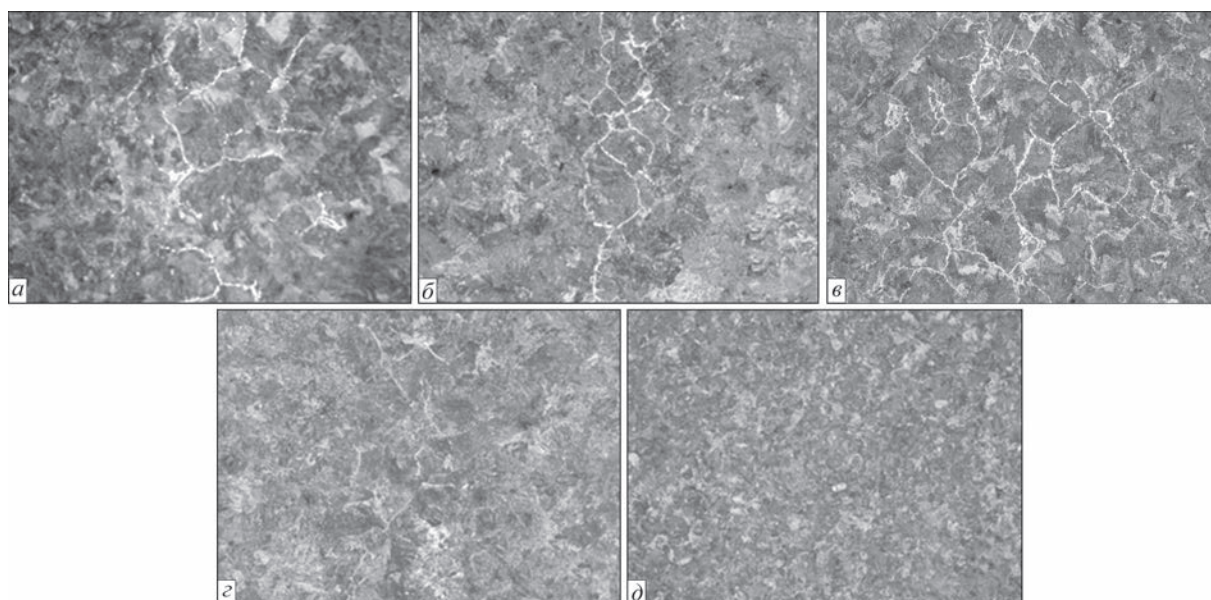


Рис. 3. Микроструктура (×100) металла ЗТВ сварных соединений: а — К76Ф (НО); б — К76Ф (ПО); в — 76Ф (ПО); г — BC-350Я (ПО); д — R350HT (ПО)

Контактная стыковая сварка

тельствует о низких пластических свойствах этого участка.

Из практики контактной сварки известно [5–7], что снижение энергозатрат при сварке позволяет улучшить структуру металла по линии соединения и примыкающим участкам, в частности, уменьшить размеры зерен и выделение феррита по их границам.

Была сварена НО партия рельсов К76Ф с пониженным ($t_{св} = 130 \dots 140$ с) энергозатратами (температурное поле, соответствующее этому режиму 2 (см. табл. 2), приведено на рис. 4, кривая 3). При испытаниях сварных образцов из этой партии наблюдалось понижение показателей пластичности (табл. 2). Причиной снижения пластических свойств в большинстве случаев является формирование в плоскости соединения дефектов, определяемых как «маховые пятна» (МП), площадью от 10 до 50 мм² (рис. 5).

Как показали проведенные исследования, в микроструктуре МП на фоне преимущественно ямочного излома матрицы (встречаются единичные фасетки скола), присутствуют многочисленные оплавленного вида включения силикатов размером до 10 мкм.

Дефекты с размерами более 30 мм заметно снижают результаты исследований на изгиб, особенно если они находятся в зоне растяжения. В большинстве нормативных документов различных стран, регламентирующих оценку качества, наличие МП с суммарной площадью до 30 мм² не является браковочным признаком. При наличии пятен большей площади в нескольких образцах из

одной контрольной партии принимается решение о необходимости доработки технологии.

Целью проведенных исследований было выяснение путей предотвращения формирования дефектов типа МП при сварке с пониженным энергозатратами. Установлено, что формирование указанных дефектов во многом определяется процессами оплавления, протекающими в финальной его стадии, предусмотренной программой (интенсивным оплавлением, переходящим в осадку). В этот период на торцах оплавленных деталей формируется расплав (рис. 6). В расплаве всегда имеются продукты его окисления воздухом, содержащиеся из искрового зазора. Если расплав успевает закристаллизоваться до включения осадки, то полностью его удалить за счет деформации не удастся. Длительность кристаллизации для расплава на торцах оплавленных деталей:

$$t_p \rightarrow \frac{A\delta_{ж}}{\lambda \frac{d\theta}{dx}} \geq \frac{\delta_{3,max}}{v_k}, \quad (1)$$

$$\frac{d\theta}{dx} \rightarrow f(\theta, v_{опл}, A_2),$$

где $\delta_{3,max}$ — максимальная величина искрового зазора; v_k — конечная скорость оплавления; Q — температура плавления свариваемых материалов; $\lambda(d\theta/dx)$ — градиент температурного поля при оплавлении перед осадкой; $\delta_{ж}$ — величина зазора в местах, где на поверхности оплавления имеют максимальную величину; A, A_2 — безразмерный параметр, зависит от теплофизических констант свариваемого материала ($c_p, \gamma, \theta_{пл}, \theta_{ж}$).

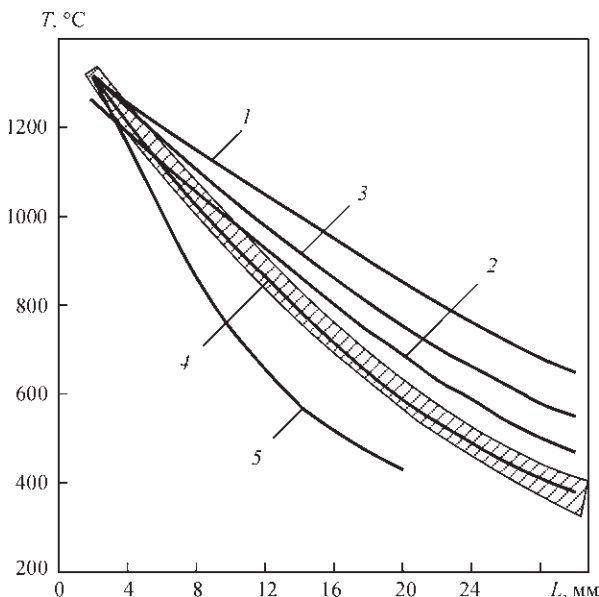
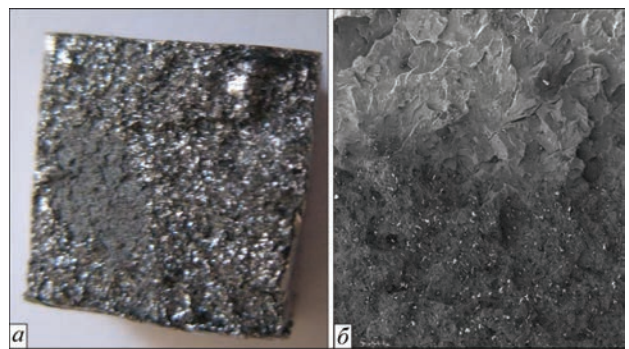


Рис. 4. Распределение температуры в ЗТВ перед осадкой при сварке рельсов Р65 на различных режимах: 1–3 — НО с программным понижением напряжения, соответственно (1 — $t_{св} = 210 \dots 240$ с; 2 — 180...200; 3 — 140...160); 4, 5 — ПО, соответственно: 4 — $t_{св} = 70 \dots 80$ с; 5 — 30...40



Номер участка	С	О	F	Al	Si	Mn	Fe	Место исследования
1	3,27	66,66	3,49	1,11	16,48	8,12	0,86	Силикат
2	1,63	61,08	2,73	2,15	16,70	14,73	0,99	Силикат
3	2,41	68,91	3,16	1,32	16,39	6,90	0,90	Силикат
4	4,43	1,57	0	0,11	0	0,80	93,09	Матрица
5	5,51	0,86	1,88	0	0,18	0,81	90,76	Матрица
6	4,70	1,50	0	0	0,15	1,11	92,54	Матрица

Рис. 5. Макро- (а), микроструктура (б) и результаты анализа химического состава поверхности излома соединений рельсов МП

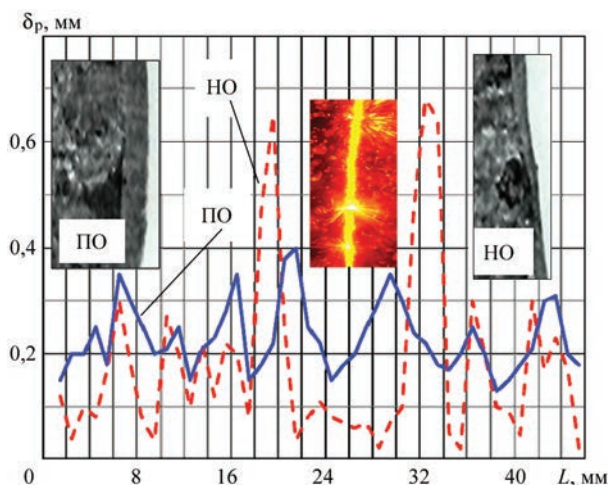


Рис. 6. Распределение расплава на поверхности оплавления головки рельса К76Ф при сварке ПО и НО

Из выражения (1) следует, что допустимая длительность кристаллизации расплава снижается с увеличением градиента температурного поля и вероятность образования дефектов возрастает.

Уменьшение величины $\delta_{з.мах}$ или увеличение $\delta_{ж}$ способствует увеличению длительности существования расплава до кристаллизации. Максимальная величина $\delta_{ж}$ определяется теплофизическими свойствами расплава и силами поверхностного натяжения, удерживающими расплав на оплавляемой поверхности. В реальных условиях толщина слоя расплава нестабильна (рис. 6, НО), что определяется взрывообразным характером оплавления. Величина δ_3 определяется в значительной степени величиной напряжения при оплавлении.

Применение пульсирующего оплавления (ПО) [8] позволяет путем многофакторного регулирования напряжения, тока и скорости перемещения деталей подавлять взрывообразный процесс разрушения элементарных контактов при оплавлении. За счет этого удается поддерживать высокий термический КПД процесса для всего периода оплавления и получать высококонцентрированный на-

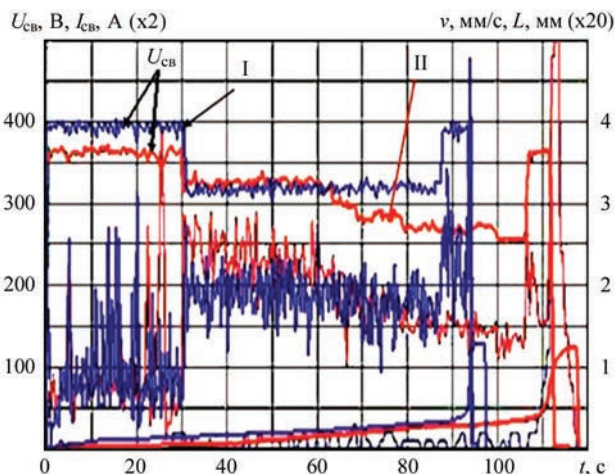


Рис. 8. Запись основных параметров процесса ПО

грев. Кроме того, поверхность оплавления при ПО более ровная (рис. 7, а, б), глубина кратеров, и соответственно, $\delta_{искр}$ уменьшается в 1,5...2,0 раза, а толщина расплава на поверхности рельса стабильно поддерживается постоянной достаточно высокой (рис. 6, ПО).

На рис. 8 приведена запись основных параметров процесса ПО при сварке рельсов. При ПО, как и при НО, основные параметры процесса задаются программами изменения напряжения, сварочного тока, скоростью оплавления и перемещения. Типовая программа приведена на рис. 8 (кривая I). Начальный период процесса проходит в режиме НО с последующим ПО. Сварочный ток при переходе на ПО возрастает почти в 3 раза, при этом скорость оплавления остается на постоянном уровне, а энергозатраты определяются длительностью процесса оплавления.

При использовании процесса ПО представляется возможным получать качественные соединения при снижении энергозатрат в 2...3 раза по сравнению с традиционными режимами сварки, принятыми при НО и с подогревом сопротивлением, при этом нет опасности появления МП. Например, при сварке рельсов из стали К75Ф ПО



Рис. 7. Поверхность оплавления рельсов Р65 перед осадкой при НО (а), ПО (б) и макроструктура сварных соединений рельсов при использовании НО (в) и ПО (г)

Контактная стыковая сварка

качественные соединения были получены при длительности сварки 30...40 с (см. рис. 4, кривая 5). Показатели испытаний на изгиб соответствовали требованиям ТУ (см. табл. 2, режим 4), а в изломах соединений не было выявлено каких-либо дефектов. На базе проведенных исследований были определены для каждой из перечисленных рельсовых сталей оптимальные уровни энерговложения, обеспечивающие наиболее высокие показатели прочности и пластичности.

На рис. 4, кривая 4 приведено оптимальное распределение температуры в зоне сварки рельсов из стали К76Ф, обеспечившее получение наиболее высоких показателей механических свойств при испытаниях сваренных рельсов на статический изгиб (табл. 2, режим 5). Из сравнения структуры макрошлифов, приведенных на рис. 7, видно, что общая ширина ЗТВ при сварке ПО вдвое меньше, чем при сварке с использованием традиционной технологии НО. Показатели механических испытаний на статический изгиб превышают нормативные показатели, установленные ТУ как по разрушающей нагрузке, так и по прогибу (табл. 2, режим 5).

В промышленных условиях точное воспроизведение оптимальных режимов нагрева при жестко заданных программах изменения основных параметров весьма проблематично. Исследованиями, проведенными в лабораторных и производственных условиях, установлены основные факторы, влияющие на стабильность воспроизведения заданных режимов нагрева и устойчивого оплавления. В частности, было установлено влияние точности подготовки торцов рельсов перед сваркой, а также колебаний напряжения в электросети источника энергоснабжения на стабильность нагрева. Неточная обрезка (более ± 1 мм), а также колебания напряжения в сети приводят к нестабильному нагреву. Для устранения этих затруднений совершенствование технологии выполнялось по двум направлениям. Были проведены исследования по определению влияния различных факторов на точность энерговложения и установлены допустимые их отклонения в процессе производства. Одновременно выполнена разработка автоматических систем управления процессом нагрева и оплавления, которая позволяет корректировать программы нагрева таким образом, чтобы обеспечить постоянство энерговложения. На рис. 4 определены области, характеризующие нагрев при предельно допустимых изменениях энерговложения, при которых обеспечиваются требуемые по нормативам механические свойства сварных соединений.

Технологии контактной сварки высокопрочных рельсов из стали К76Ф, 76Ф, ВС-350Я и R350НТ. В основу разработанных технологий

приняты программы изменения основных параметров, апробированные при сварке рельсов из стали К76Ф в производственных условиях. Основные показатели, принятые для каждого типа рельсов, режимы сварки приведены на рис. 4. Они базируются на разработанных программах и отличаются длительностью процесса нагрева, градиентом температурного поля и соответственно энерговложением, а также необходимым усилием осадки. Величина напряжения, средняя потребляемая мощность, укорочение деталей при сварке поддерживаются системами автоматического управления на постоянном уровне. Существенно отличаются пределы допустимых отклонений для заданных значений энерговложения. Для рельсов из стали 76Ф установлены более жесткие ограничения энерговложения, чем для других исследованных партий высокопрочных рельсов. Это обусловлено повышенным содержанием неметаллических включений в рельсах «Евраз» ЗСМК. На рис. 3 приведены фотографии микроструктуры сварных соединений всех исследованных партий, сваренных на оптимальных режимах. Общая ЗТВ в 2 раза меньше, чем принято при сварке НО. В зоне сварки рельсов всех партий наблюдается увеличение твердости с некоторым ее снижением по границам зоны и в центре (рис. 9). Это обусловлено изменением структуры металла в зоне отпуска на границах ЗТВ и снижением содержания углерода в плоскости соединения. Ширина этих участков незначительна и не влияет на износостойкость поверхности головки катания рельсов.

На участках с повышенной твердостью наблюдается структура сорбита. В целом изменение твердости находится в допустимых пределах для перечисленных рельсов, а при проведении всесторонних металлографических исследования в ЗТВ мартенситных структур обнаружено не было.

Контрольные партии сваренных рельсов прошли всесторонние испытания. При проверке с использованием разрушающих и неразрушающих методов контроля во всех контрольных партиях дефектов не выявлено. Результаты испытаний контрольных партий на статический изгиб по

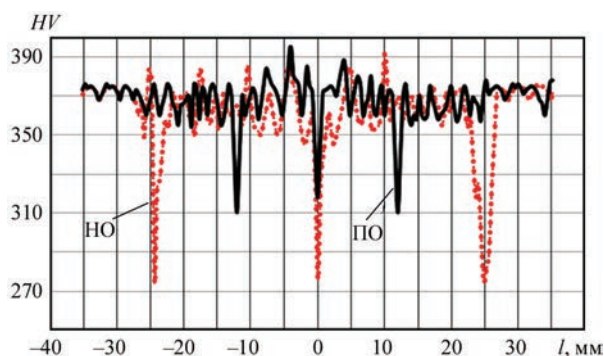


Рис. 9. Распределение твердости на поверхности катания стыка рельса Р65, выполненного НО и ПО

международной методике приведены в табл. 2. Результаты испытаний соответствуют нормативам в Украине и ЕС. При этом необходимо учитывать, что все сварные соединения не подвергались послесварочной термообработке.

Самонастраивающаяся система автоматического регулирования процессом контактной сварки пульсирующим оплавлением высокопрочных рельсов. Как и при НО, при ПО задается программа основных параметров процесса оплавления, определяющих его устойчивость и заданное энергозатрачивание при сварке, к ним относятся напряжение и ток в сварочной цепи, скорость оплавления, величина напряжения, усилие, развиваемое приводом сварочных машин, и величина деформации при осадке. Программы автоматически корректируются с использованием обратных связей. Разработанные алгоритмы управления этими параметрами предусматривают их взаимосвязь с изменением в процессе сварки напряжения холостого хода в электрической сети, а также сопротивления короткого замыкания сварочной цепи машины.

На рис. 8 приведены типовая запись параметров при сварке рельсов типа Р65 из стали К76Ф в производственных условиях на одном из рельсосварочных предприятий Украины. Кривая I (рис. 8) соответствует сварке на оптимальном режиме, кривая II зарегистрирована, когда напряжение сети снизилось на 50 В, что могло существенно повлиять на качество соединений, если бы программа не корректировалась в процессе сварки. Благодаря наличию в системе обратных связей, программа изменилась таким образом, чтобы энергозатрачивание оставалось постоянным. Автоматическая корректировка установленной программы происходит также при изменении других параметров процесса, например, при увеличении сопротивления короткого замыкания сварочной машины в результате перегрева или неудовлетворительного состояния вторичного контура, а также неудовлетворительной зачистки поверхности свариваемых рельсов. Естественно, возможности автоматической системы регулирования параметров не беспредельны и не могут предотвратить грубые нарушения принятых условий эксплуатации оборудования. Она позволяет расширить диапазон допустимых отклонений и обеспечить высокую воспроизводимость заданных программ сварки. При этом появляется дополнительная возможность контроля качества соединений по результатам анализа изменений в процессе сварки всех перечисленных параметров. На каждый сваренный стык рельсов компьютерная система управления сварочной машины выдает паспорт, где в текстовом и графическом виде регистри-

ровано изменение основных параметров, а также их реальные отклонения от заданных оптимальных значений. Разработаны алгоритмы контроля, на основе которых система выдает оценку качества сваренного стыка в режиме реального времени. Результаты контроля выдаются сразу по выполнении сварки на дисплее сварочной машины для информации оператора, и одновременно по электронной почте передаются в диагностический центр, где производится более тщательный анализ с учетом результатов неразрушающего контроля и контрольных испытаний образцов. Результаты операционного контроля в виде сменного рапорта внесены как регламентирующий документ в утвержденном ТУ на выполнение сварки и успешно применяются на всех рельсосварочных предприятиях «Укрзалізниці». Совместно с Диагностическим центром «Укрзалізниці» создается система единого удаленного мониторинга качества соединений рельсов не только в стационарных, но и в полевых условиях, куда сейчас перемещается основной объем сварочных работ.

ИЭС совместно с Диагностическим центром обработали большой объем информации (несколько десятков тысяч стыков) о качестве сварки соединений высокопрочных рельсов и сопутствующей информации о состоянии сварочного оборудования. На основе этой информации были уточнены алгоритмы оценки качества сварных соединений при операционном контроле. Внесены предложения по выполнению обслуживания сварочного оборудования и профилактическому его обследованию.

Сварка рельсов с натяжением. При строительстве и ремонте бесстыковых путей [9, 10] возникает проблема стабилизации температурно-напряженного состояния пути. В большинстве средних широт температурный интервал составляет 90 °С. Уровень напряжений в рельсах изменяется в диапазоне 50...—40 °С. Его снижают за счет более жесткого закрепления рельсов на шпалах, что требует комплекса мер по ужесточению основания пути, а также производится периодическая разгрузка напряженности в рельсах за счет смены два раза в год (весной и осенью) рельсов-вставок соответствующей длины. Аналогичная проблема разгрузки возникает при необходимости ремонта пути, когда вместо вырезанного с дефектом участка вставляется новый рельс, который приваривается к плети в двух соединениях (в точках А и В, рис. 10). В соответствии с нормативными документами в Украине и других странах для сварки в главных путях допускается только контактная сварка, обеспечивающая реальную равнопрочность с основным металлом, в том числе по показателям усталостной прочности. При

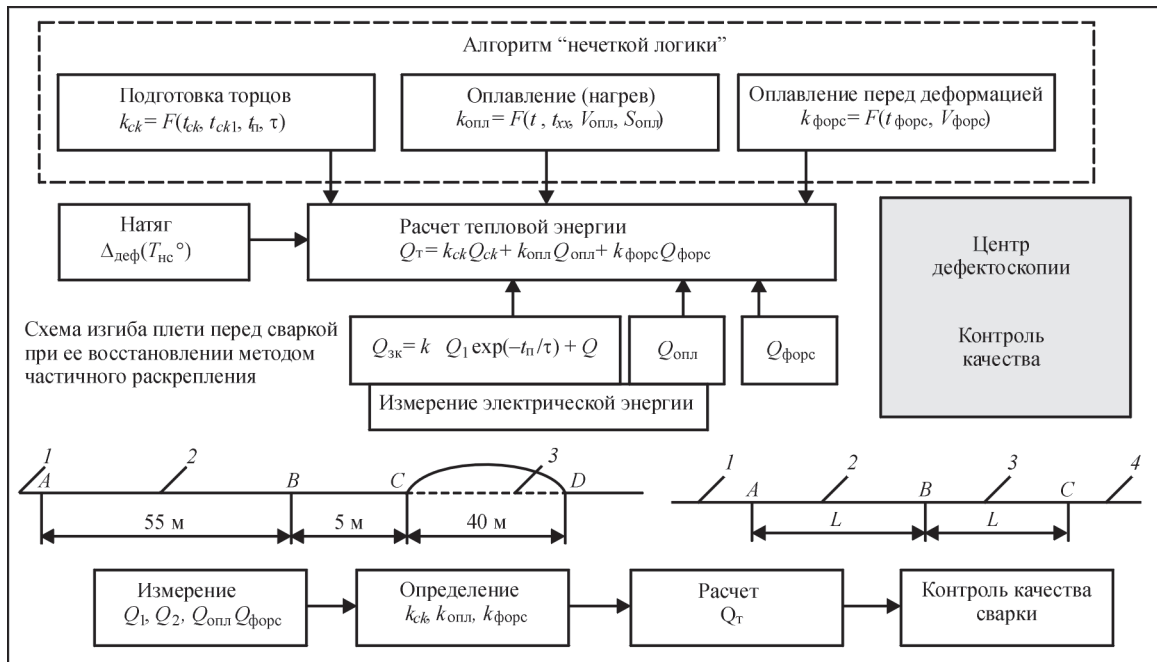


Рис. 10. Система автоматического многофакторного регулирования параметров сварочного процесса при сварке высокопрочных рельсов из стали марки К76Ф

контактной сварке рельсы укорачиваются, а припуск на оплавление задается программой. Поэтому для получения требуемого припуска на сварку двух стыков привариваемый рельс изгибается в горизонтальной либо в вертикальной плоскости на величину, которая обеспечивает требуемый припуск на сварку. При этом привод машины должен обеспечивать высокую точность укорочения рельсов на завершающей стадии осадки. Такая технология при ремонте путей применяется на железных дорогах Украины и других стран, что нашло отражение в нормативных документах. В процессе выполнения этих операций возникло предложение осуществлять сварку без изгиба привариваемого рельса и необходимый припуск на сварку получить за счет натяжения обеих свариваемых плетей (рис. 10, плети 2 и 3).

При использовании технологии сварки ПО припуск на сварку уменьшается почти в два раза по сравнению с принятыми технологиями сварки рельса в пути. Это облегчает решение задачи по использованию припуска при оплавлении как параметра управления натягом плетей во время сварки замыкающих стыков. В программу сварки, задающей перемещение при оплавлении, добавляются новые параметры, определяющие усилие и величину натяга. В результате был определен общий алгоритм управления, учитывающий условия выполнения работ (температуру укладки бесстыкового пути и окружающей среды при сварке) и соответственно необходимые параметры натяжения. Оператор-сварщик при этом вводит только данные о разнице температур, при которой производится сварка, все последующие операции,

вплоть до удаления грата, выполняются автоматически. После сварки в сваренных плетях рельсов на ремонтируемом участке восстанавливается требуемое температурно-напряженное состояние.

В развитие технологии контактной сварки рельсов с натягом была разработана более радикальная технология реконструкции железнодорожных путей, предусматривающая их полное обновление. При укладке бесконечного бесстыкового пути сварку плетей длиной до 1000 м выполняют с натягом, создавая в них постоянные растягивающие напряжения. Их величина рассчитывается из условия, что при изменении температуры в интервале изменения температур от -5 до 30 °С в плети будут сохраняться только растягивающие напряжения, величина которых не превышает 10...15 МПа (для средних широт). Такую технологию с использованием сварочного оборудования, разработанного в ИЭС (впервые с участием специалистов ИЭС) применила американская фирма «Norfolk Southern Corporation». В течение последних лет на железных дорогах этой фирмы свариваются непрерывные бесстыковые пути протяженностью несколько сотен км (от станции до станции).

Новые поколения оборудования для контактной сварки высокопрочных рельсов. Для осуществления разработанной технологии сварки высокопрочных рельсов в ИЭС разработано новое поколение рельсосварочных машин, технические характеристики которых приведены в табл. 3. Серийный выпуск такого оборудования по разработкам ИЭС выполняет Каховский завод электросварочного оборудования. Сварочные ма-

Таблица 3. Технические характеристики рельсовсварочных машин

Параметры (сварочные и машинные)	Типы машин					
	K355A-1	K900A-1	K920-1	K921	K922-1	K922-2
Номинальный первичный ток (ПВ = 50 %), А	395	395	540	540	540	540
Номинальная мощность (ПВ = 50 %), кВ·А	150	170	210	210	210	210
Коэффициент трансформации	60	60	54	54	54	54
Номинальное усилие осадки, кН (кгс)	450 (45000)	500 (50000)	1000 (100000)	1500 (150000)	1200 (120000)	1200 (120000)
Номинальное усилие зажатия, кН (кгс)	1250 (125000)	1200 (120000)	2500 (250000)	3750 (375000)	2900 (290000)	2900 (290000)
Скорость осадки на холостом ходу, мм/с не менее	20	25	35	35	40	50
Ход машины, мм	70	70	90	150	100	150
Масса сварочной головки, кг, не более	2375	2500	2900	4200	3450	3500
Масса комплекта поставки, кг, не более	4000	4100	4500	6000	5150	5100
Габаритные размеры (ВхHхL), мм	810x1059 x1140	1030x1140 x1550	1060x1195 x1600	1190x1400 x2430	1060x1300 x1895	1060x1300 x2050

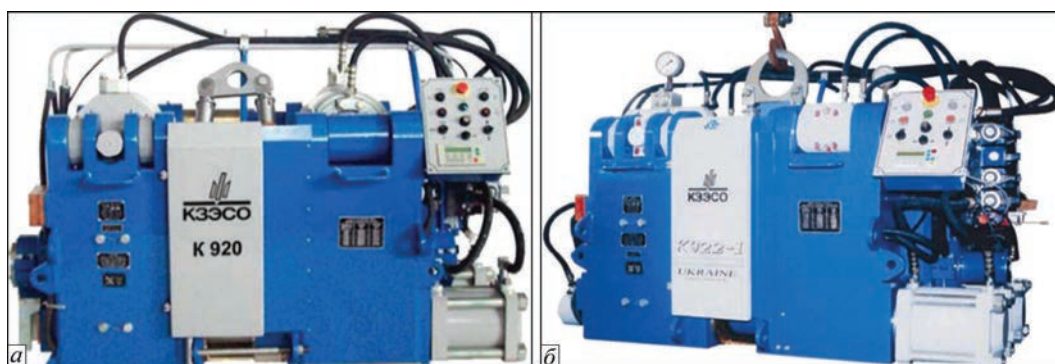


Рис. 11. Мобильные машины для сварки рельсов: а — K920; б — K922-1

шины используются в стационарных и полевых условиях. Несмотря на конструктивные отличия в исполнении механических узлов машин, они имеют общие элементы автоматического управления процессом сварки, энерговозложения, системы контроля и алгоритмы автоматического управления. Все эти новые разработки позволяют в полной мере реализовать преимущество технологии сварки ПО.

В них используются автоматические системы управления ПО, базирующиеся на применении быстродействующих гидроприводов, адаптивных электрических систем управления быстропротекающих электрических процессов. Их разработка и применение позволили в значительной степени исключить неблагоприятное изменение условий эксплуатации на стабильность воспроизведения заданных режимов сварки. Во всех машинах применяются системы автоматического операционного контроля качества соединений на базе регистрируемых отклонений от заданных значений. Определены алгоритмы оценки качества в функции этих отклонений и введение их в электрон-

ной форме в общую систему в режиме реального времени.

Новые машины (рис. 11) обеспечивают усилия осадки, в 2,0...2,5 раза превышающие аналогичные показатели машин предыдущего поколения (K355, K900). Это позволяет использовать режимы сварки ПО высокопрочных рельсов различных производителей. Кроме того, значительно расширяются возможности для применения технологий сварки с натяжением. Гидропривод машин позволяет развивать усилие до 150 т и натягивать рельсовые плети на расстояние до 300 мм для выполнения вспомогательных операций при работе с длинномерными плетями.

Выводы

При сварке всех исследованных партий высокопрочных рельсов требуемые показатели механических свойств сварных соединений получены на режимах сварки, отличающихся низким энерговозложением, в 1,5...2,0 меньше, чем при сварке рельсов предыдущих поколений.

Контактная стыковая сварка

Разработана технология сварки пульсирующим оплавлением, обеспечивающая высококонцентрированный нагрев и формирование качественных соединений высокопрочных рельсов различного производства.

Разработана и апробирована в производственных условиях система многофакторного регулирования параметрами процесса оплавления, обеспечивающая стабильное воспроизведение заданного энергозложения при сварке рельсов различного состава. Определены допустимые пределы отклонений заданного значения.

Разработана и апробирована в производственных условиях система операционного контроля качества сварных рельсов.

Проведены всесторонние испытания сварных соединений различных категорий высокопрочных рельсов. По основным показателям сварные соединения удовлетворяют требованиям различных мировых стандартов.

Разработана технология сварки высокопрочных рельсов с натягом, обеспечивающая в процессе сварки оптимальный уровень внутренних напряжений в бесстыковом пути.

Разработано новое поколение машин для контактной сварки высокопрочных рельсов в стационарных и полевых условиях. Производство таких

машин освоил Каховский завод электросварочного оборудования (Украина).

1. Генкин И. З. Электроконтактная сварка рельсов / И. З. Генкин. – М.: Трансжелдориздат: технический справочник железнодорожника. Путь и путевое хозяйство. – 1951. – Т. 5. – С. 378–390.
2. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка непрерывным оплавлением / С. И. Кучук-Яценко, В. Х. Лебедев. – К.: Наукова думка, 1976. – 213 с.
3. Рейки нові зварені для залізниць: ТУ У 27.1-40081293-002:2016. ТУ У 27.1-40081293-002:2016. «Дніпропетровське НКТБ КГ» філії «НДКТБ» ПАТ «Укрзалізниця».
4. Генкин И. З. Сварные рельсы и стрелочные переводы / И. З. Генкин. – М.: Интекст, 2003 – 93 с.
5. Доценко В. Е. Контактная сварка рельсов / В. Е. Доценко. – М.: Машгиз, 1949. – 312 с.
6. Генкин И. З. Исследования, опыт сварки и эксплуатации объемно и поверхностно закаленных рельсов / И. З. Генкин // Технология производства железнодорожных рельсов. – Харьков: УкрНИИМета МЧМ, 1973. – С. 132–136.
7. Процесс непрерывного оплавления при контактной сварке / С. И. Кучук-Яценко, Н. К. Хрящева, В. Б. Шляпин [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 1973. – № 2. – С. 9–10.
8. Кучук-Яценко С. И. Интенсификация нагрева рельсов при контактной сварке импульсным оплавлением / С. И. Кучук-Яценко, В. Г. Кривенко, М. В. Богорский // Автоматическая сварка. – 1977. – № 4. – С. 45–50.
9. Технічні вказівки по улаштуванню, укладанню, ремонту і утриманню безстыкової колії на залізницях України / Е. І. Даніленко, М. І. Карпов, М. Д. Костюк [та ін.]. – К.: Транспорт України, 2002.
10. Токарева А. Е. Восстановление дефектных плетей / А. Е. Токарева, Н. П. Виногоров // Путь и путевое хозяйство. – 2002. – № 4. – С. 121–141.

Поступила в редакцию 10.05.2015



ВСЕУКРАЇНЬСЬКА КОНФЕРЕНЦІЯ «СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНИХ ТЕХНОЛОГІЙ. УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ»

7–9 вересня 2016 р.

м. Маріуполь

- Підвищення якості і ефективності процесів зварювання та інших споріднених технологій
- Проблеми проектування, виготовлення і експлуатації зварних конструкцій
- Система сертифікації продукції зварювального виробництва
- Фізико-хімічні процеси при зварюванні та споріднених процесах
- Контроль якості та надійність зварних конструкцій
- Енерго- та ресурсозбереження у зварюванні
- Удосконалення підготовки кадрів в умовах багаторівневої системи вищої освіти
- Математичне, фізичне, імітаційне моделювання, комп'ютерні та інформаційні технології в зварюванні та споріднених процесах
- Механізація та автоматизація у зварюванні та споріднених процесах
- Матеріалознавство у зварюванні та споріднених процесах

РОБОЧІ МОВИ КОНФЕРЕНЦІЇ
українська, російська, англійська

До початку роботи конференції будуть видані тези доповідей.

Найкращі доповіді будуть рекомендовані для видання в журналі «Вісник ДВНЗ «ПДТУ».

АДРЕСА ОРГАНІЗАЦІЙНОГО КОМІТЕТУ

ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет (ПДТУ).
87500, м. Маріуполь, Донецька обл., Україна, вул. Університетська 7.
Тел. кафедри: (380) 629 44 65 91; (380) 629 44 62 16
E-mail: pstu.edu.oitzv@gmail.com