

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ РЕЛЬСОВ

Академик НАН Украины С. И. КУЧУК-ЯЦЕНКО, А. В. ДИДКОВСКИЙ, инж., В. И. ШВЕЦ, канд. техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены вопросы свариваемости контактным стыковым способом термоупрочненных рельсов современного производства, разработки технологий и оборудования для их соединения. Показано, что присутствие в рельсовых сталях некоторых неконтролируемых примесей ухудшает их свариваемость. Разработана технология и оборудование для сварки термоупрочненных рельсов, обеспечивающие требуемые нормативами механические свойства сварных соединений.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, термоупрочненные рельсы, испытания на изгиб, неметаллические включения, микроструктура зоны термического влияния, поверхность изломов

Грузонапряженность железных дорог в развитых странах мира непрерывно возрастает. Срок службы рельсов исчисляется уже не десятилетиями, как в прошлом столетии, а годами. На некоторых участках железных дорог Сибири и Донбасса смена рельсов осуществляется через каждые 4–5 лет. В связи с зарождением в рельсах усталостных дефектов увеличился объем ремонтных работ по восстановлению целостности эксплуатируемых путей [1].

В последнее десятилетие значительно возросли объемы применения термоупрочненных рельсов, позволяющих повысить долговечность и надежность железнодорожных путей. В странах СНГ более 70 % рельсового проката приходится на термоупрочненные рельсы. Существенно увеличились масштабы использования термоупрочненных рельсов в европейских странах, США и Китае.

Основными производителями термоупрочненных рельсов в странах СНГ [2] являются ОАО Нижнетагильский (НТМК) и Новокузнецкий (НКМК) металлургические комбинаты, выпускающие все типы рельсов, используемых на грузонапряженных рельсовых путях. В меньших объемах производит рельсы комбинат «Азовсталь», часть из них подвергается объемному термоупрочнению.

При укладке бесстыковых путей, а также при их ремонте рельсы сваривают в длиномерные плети. Сварку выполняют в основном (более 90 %) контактным способом, практически обеспечивающим равнопрочность сварных соединений с основным металлом, в том числе и по показателям испытаний на усталость.

ИЭС им. Е. О. Патона имеет многолетний опыт комплексной разработки технологий и оборудования контактной стыковой сварки (КСС): наряду с созданием технологий сварки разрабатываются системы автоматического управления процессом, источники энергоснабжения, оборудование для сварки и сопутствующих операций, в частности, удаление грата. Такой подход позволил за последние десятилетия создать несколько поколений оборудования для контактной сварки, не имеющих аналогов в мировой практике. В основу его положена технология сварки непрерывным оплавлением с программным изменением основных параметров [3]. Использование этой технологии дало возможность значительно улучшить энергетические показатели процесса, повысить его производительность и качество сварных соединений. Впервые удалось применить КСС в полевых условиях при укладке бесстыковых путей, а также их ремонте. ИЭС им. Е. О. Патона много лет работает в тесном сотрудничестве с Каховским заводом электросварочного оборудования (КЗЭСО), который по разработкам института освоил серийный выпуск оборудования для КСС.

В последнее пятилетие на рельсосварочные предприятия стали поступать термоупрочненные рельсы. Было установлено, что при их сварке на базовых режимах показатели испытаний на статический изгиб ниже нормативных значений. В связи с этим по заданию Министерства путей сообщения (МПС) Украины и России в ИЭС им. Е. О. Патона выполнены комплексные исследования особенностей формирования соединений термоупрочненных рельсов с целью определения причин ухудшения свариваемости и совершенствования технологии сварки.

Сваривали партии термоупрочненных рельсов типа Р65, изготовленных в 2004–2006 гг. на комбинатах «Азовсталь» (сталь М76), НТМК (сталь Э76Ф) и НКМК (сталь К76Т). Для сравнения выполняли также сварку термоупрочненных рельсов

Таблица 1. Химический состав (мас. %) сталей рельсов типа Р65 (ГОСТ Р 51685–2000)

Марка стали	C	Mn	Si	P	S	V	Ti	Al	Cu
M76	0,71...0,82	0,75...1,05	0,25...0,45	< 0,035	< 0,040	—	—	0,02	—
Э76Т (опытная партия)				< 0,030	< 0,035				
К76Т (опытная партия)				< 0,025	< 0,030	0,03...0,15	—		
Э76Ф									
К76Ф	—	—	—	—	—	—	—		
U75V	0,70...0,78	0,70...1,05	0,50...0,70	< 0,035	< 0,035	0,04...0,08	—	—	—

Таблица 2. Механические свойства партий рельсов типа Р65 из сталей М76, К76Ф, Э76Ф, U75V

Марка стали	Твердость HV 4,9	Временное сопротивление σ_b , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость a_n , МДж/м ²
M76	280...320	800...1100	500...700	≥ 6	≥ 20	≥ 0,5
К76Т (опытная партия)	340...390	1180	800	8,0	25,0	
Э76Ф						

Таблица 3. Основные параметры режима сварки партий рельсов из сталей М76, К76Т, Э76Ф, U75V

Режим сварки	Время сварки t , с	Припуск (мм) на		Усилие осадки P , кН	Максимальная удельная мощность, кВт/мм ²
		оплавление $L_{оп}$, мм	осадку $L_{ос}$, мм		
Н*	180...230	45...55	12...13	450	0,002
П**	65...80	15		600	0,035

* Базовая технология (непрерывное оплавление).
 ** Усовершенствованная технология пульсирующим оплавлением.

типа U75V производства Китая. Химический состав и механические свойства рельсовой стали приведены в табл. 1, 2 [2].

Сварку выполняли на новых рельсосварочных машинах К1000, К920, К922, серийно выпускаемых КЗЭСО. Испытания проводили по принятой на рельсосварочных предприятиях МПС Украины и России методике [4]. В этой работе принимали участие сотрудники Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, РФ).

Металлографические исследования сварных соединений были выполнены в лабораториях ИЭС им. Е. О. Патона. Анализ микроструктуры поверхности изломов проводили на растровом электронном микроскопе JSM-840 с микроанализатором «Lynk-Systems», химический состав структурных составляющих — на микроанализаторе SX-50 фирмы «Самеса» (Франция).

На первом этапе сварку рельсов, перечисленных в табл. 1, выполняли на базовом режиме (Н), принятом для стандартных рельсов (табл. 3). Изменение основных параметров режима в процессе сварки представлено на рис. 1, а. Принятый режим сварки обеспечивал одинаковые тепловложение и деформацию при сварке всех партий рельсов.

Результаты испытаний на статический изгиб соединений рельсов приведены в табл. 4, где ука-

заны нормативные значения, которым должны соответствовать показатели испытаний. При сравнении приведенных данных видно, что в партиях рельс из стали Э76Ф и К76Т средние значения прогиба $f_{пр}$ и разрушающей нагрузки $P_{изг}$ ниже допустимых, а в партии из стали М76 — соответствуют нормативным требованиям. Результаты динамических испытаний на изгиб рельсов из стали U75V также ниже нормативных.

Разрушение всех соединений рельсов при статических и ударных испытаниях на изгиб происходило по линии соединения, где наблюдалось снижение твердости и прочности металла (рис. 2). Зона термического влияния (ЗТВ) соединений рельсов всех партий имела одинаковую ширину и структуру, характерную для контактной сварки, поскольку сваривали рельсы при одинаковом тепловложении. Для металла линии соединения характерна крупнозернистая сорбитная структура (рис. 3). Балл первичных аустенитных зерен, окантованных выделениями феррита, составлял 3...4. По мере удаления от линии соединения размер зерен уменьшался, сорбитная структура сохранилась.

Металлографическими исследованиями соединений рельсов и фрактографическими исследованиями изломов сварных образцов установлено, что снижение прочностных показателей соедине-

Таблица 4. Результаты испытаний на статический изгиб соединений партий рельсов типа Р65 из сталей М76, К76Т, Э76Ф, U75V

Марка стали	Режим Н			Режим П			Нормативные значения (не менее)		
	$P_{изг}$, кН	$f_{пр}$, мм	A , кДж	$P_{изг}$, кН	$f_{пр}$, мм	A , кДж	$P_{изг}$, кН	$f_{пр}$, мм	A , кДж
М76	$\frac{1800...2400}{2050}$	$\frac{30...80}{35}$	—	$\frac{1800...2300}{2250}$	$\frac{35...60}{40}$	—	180	30	—
К76Т	$\frac{1800...2500}{2100}$	$\frac{12...35}{19}$		$\frac{2300...2700}{2350}$	$\frac{30...60}{32}$				
Э76Ф	$\frac{1800...2500}{2100}$	$\frac{12...40}{21}$		$\frac{2300...2700}{2350}$	$\frac{32...60}{34}$				
U75V	$\frac{1600...2100}{1800}$	$\frac{25...60}{34}$	$\frac{25...60}{29,4}$	$\frac{1550...2200}{1850}$	$\frac{25...60}{32}$	$\frac{49...98}{78,4}$	150	22	49

Примечание. А — энергия разрушения.

$U, V, I, A, S_{II} \cdot 10^{-1}, мм$

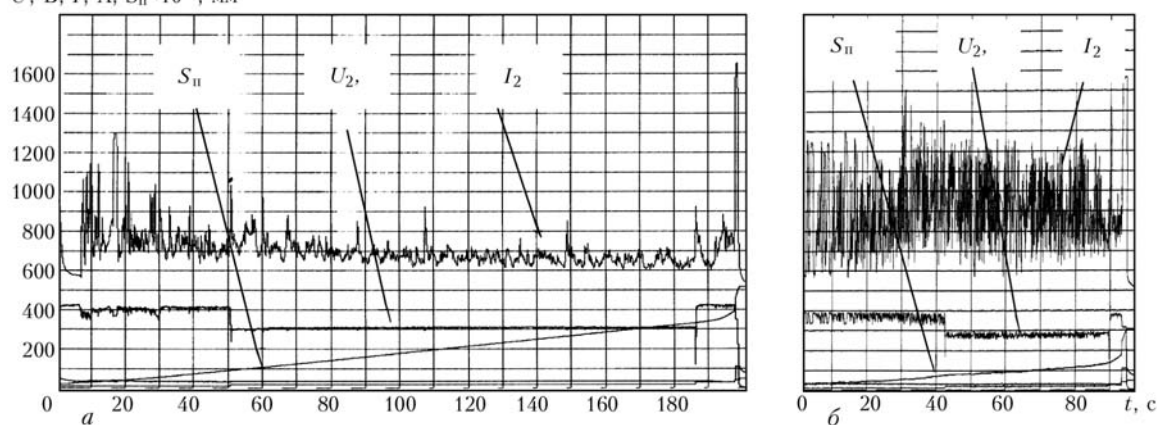


Рис. 1. Изменение основных параметров режима сварки (напряжения U_2 , тока I_2 и перемещения подвижной колонны S_{II}) при сварке рельсов Р54 на рельсосварочной машине К1000 на режимах Н (а) и П (б) (см. табл. 3)

ний рельсов указанных партий обусловлено образованием в зоне шва двумерных оксидных структурных составляющих. Особенно это заметно в соединениях рельсов из сталей Э76Ф и К76Т. В образцах рельсов из стали М76 таких оксидных структурных составляющих не обнаружено, но выявлены глобулярные включения оксисульфидов железа и марганца, а также силикатов железа.

На рис. 4 представлен фрагмент излома соединений рельса из стали Э76Ф после испытаний. На поверхности изломов можно выделить две группы дефектов: группа А — кристаллический излом отсутствует; В — имеет место мелкокристаллический излом, отличающийся серым или матовым оттенком. В практике контактной сварки их называют матовыми пятнами (МП).

При анализе микроструктуры поверхности излома названных дефектов установлено (рис. 5, а), что дефекты группы А представляют собой монолитную оксидную плену, основу которой составляют силикаты железа. В ее состав входят также оксиды активных элементов, содержащихся в данной рельсовой стали (титана, алюминия, ванадия). Металлическая связь на этом участке отсутствует. Толщина оксидных плен составляет 20...100 мкм.

В микроструктуре МП (рис. 5, б) наряду с окисными пленами, утоненными до 10 мкм (участок 1), присутствуют участки транскристаллитного излома (участок 2), структура которых подобна таковой участков разрушения по основному металлу (рис. 5, в). МП, таким образом, представляют собой участки с диспергированной тонкой оксидной пленой.

При испытаниях на разрыв стандартных образцов, в которых площадь МП составляет до 90 % площади образца, показатели прочности близки к показателям основного металла. В то же время при испытаниях на изгиб значения по-

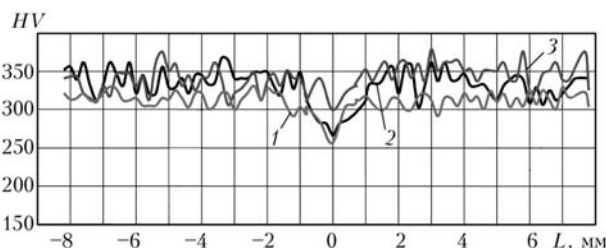


Рис. 2. Распределение твердости в соединениях рельсов из стали М76 (1) и Э76Ф (2), полученных на режиме Н, и из стали Э76Ф (3), полученных на режиме П; L — расстояние от линии сплавления

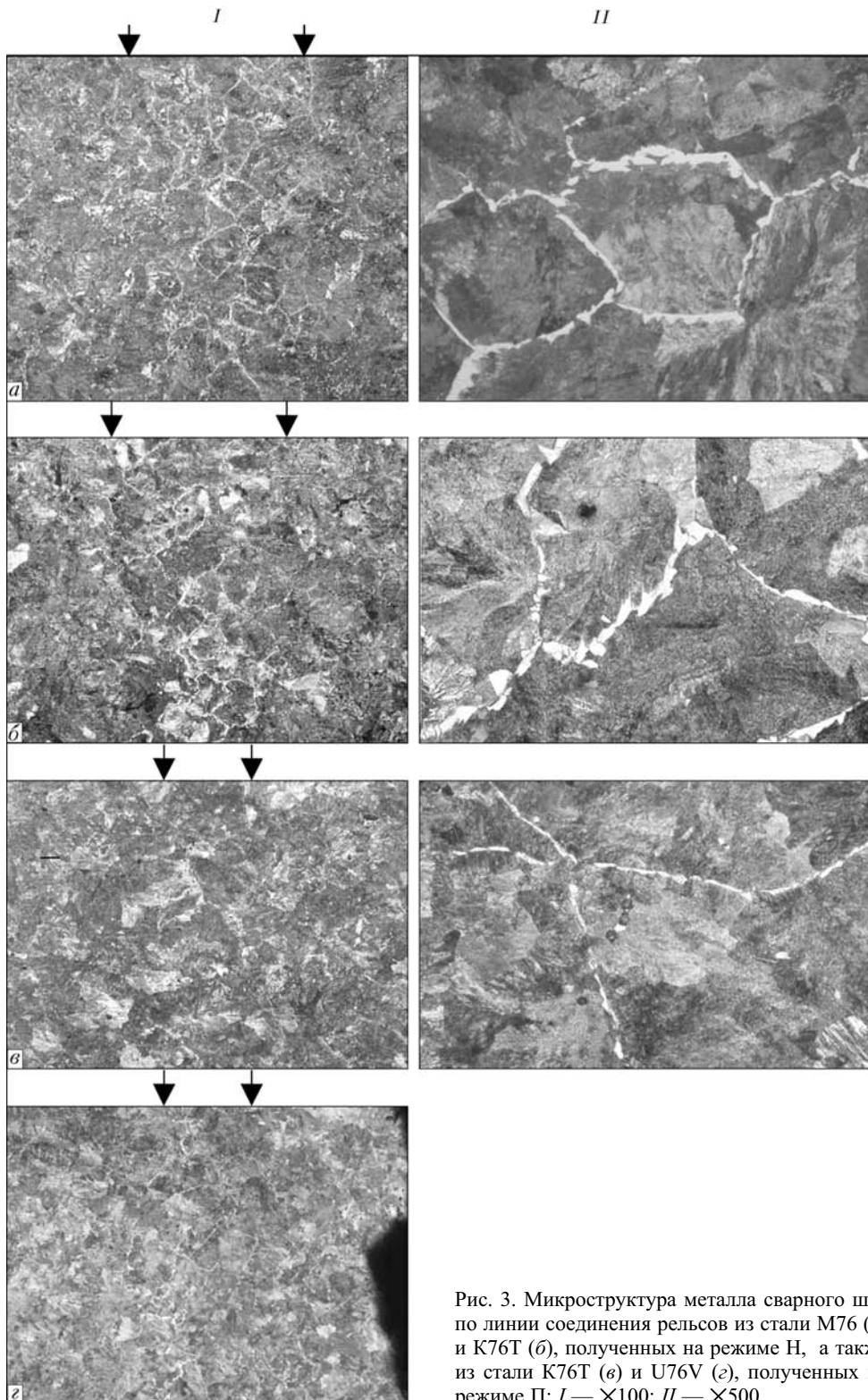


Рис. 3. Микроструктура металла сварного шва по линии соединения рельсов из стали М76 (а) и К76Т (б), полученных на режиме Н, а также из стали К76Т (в) и U76V (г), полученных на режиме П: I — $\times 100$; II — $\times 500$

казателей прочности составляют всего 10...20 % таковых основного металла.

В табл. 5 приведены результаты микрорентгеноспектрального анализа химического состава оксидных включений, обнаруженных в изломах соединений рельсов после испытаний на изгиб. Как видно из таблицы, монолитные оксидные пленки в соединениях рельсов одной партии имеют

химический состав, близкий к фрагментам оксидной пленки в МП.

В изломах соединений рельсов из стали М76 присутствуют глобулярные включения оксисульфидов железа и марганца, а также силикатов железа. В составе оксидных пленок соединений рельсов из стали К76Т, кроме силикатов железа, обнаруживается повышенное содержание кальция и

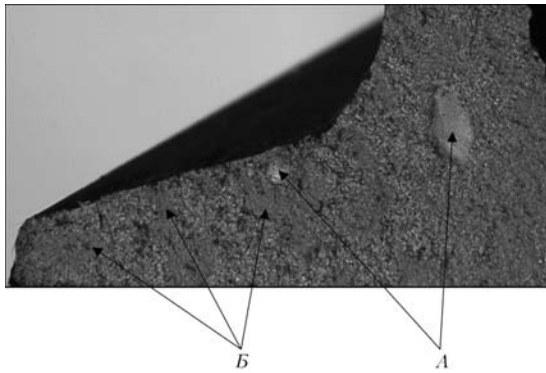


Рис. 4. Фрагмент излома сварного соединения рельсов из стали Э76Ф: А — оксидные пленки; Б — МП

титана, а из стали Э76Ф — алюминия и ванадия. При этом их содержание во много раз больше, чем в рельсовой стали (см. табл. 1).

Все партии рельсов были сварены на одинаковом режиме. Образование оксидных плен в металле швов, выполненных на рельсах из сталей К76Т, Э76Ф и U75V, дает основание считать, что это связано с присутствием в их составе титана и ванадия в отличие от рельсов из стали М76, в соединении которых оксидные пленки отсутствуют.

Наличие оксидных плен обуславливает нестабильность значений $f_{пр}$ и $P_{изг}$ в партиях рельсов из сталей Э76Ф, К76Т и U75V при испытаниях на изгиб. Минимальные значения этих показателей соответствуют тем образцам, где в изломах наблюдалось наибольшее количество дефектов типа оксидных плен и МП, особенно если они расположены у края подошвы рельсов, подвер-

гающейся растяжению при испытаниях на изгиб. И это не единственная причина снижения значений $f_{пр}$ и $P_{изг}$ при испытаниях.

В некоторых образцах оксидные пленки в изломах обнаружены не были, однако указанные показатели имели значения ниже требуемых. Это может быть обусловлено формированием в металле шва структурной составляющей с пониженными пластическими свойствами, которой, по-видимому, является феррит, выделяющийся по границам зерен первичного аустенита по линии соединения, в остальном микроструктура соединений рассматриваемых рельсов отличается незначительно (см. рис. 3). В работе [2] отмечается, что увеличение содержания свободного феррита в соединениях термоупрочненных рельсов снижает их прочность и стойкость к зарождению трещин.

При контактной сварке оплавлением существенное влияние на формирование структуры металла по линии соединения оказывает слой расплава, образующийся на поверхности оплавления. Он активно взаимодействует с газами, выделяющимися в искровом промежутке, в том числе с кислородом воздуха, в результате чего происходит обезуглероживание как расплава, так и приконтактных слоев соединяемых металлов вследствие высокой диффузионной активности углерода, а также насыщение расплава газами, в частности, кислородом [5].

При осадке полного удаления расплава из зазора не происходит. Расплав сохраняется на структурных границах в приконтактном слое металла,

Таблица 5. Химический состав (мас. %) неметаллических включений

Марка стали	Fe	Mn	Si	S	V	Ti
<i>Рельсовая сталь</i>						
М76	39,8...80,9	0,86...10,30	0,51...1,30	0,3...5,3	Не опр.	Не опр.
К76Т	33,5...58,5	0,01...0,50	0,9...6,1	2,4...30,1	0,006	0,1...1,2
Э76Ф	68,9...95,8	0,7...1,6	0,56...5,90	0,08...0,50	0,06...0,12	—
<i>Поверхность излома сварных соединений рельсов</i>						
М76	45,8...79,1	0,9...5,3	1,2...10,3	0,8...10,1	—	—
К76Т	20,9...35,9	0...0,1	3,8...55,9	3,6...24,2	0,003	0,03...1,80
Э76Ф	22,8...37,5	0,8...1,3	40,1...54,5	3,6...24,2	0,07...1,30	0...0,48

Окончание табл. 5

Марка стали	P	Al	Ca	Cu	O	Mg
<i>Рельсовая сталь</i>						
М76	0,02	Не опр.	0,03...5,30	0,01...0,11	6,3...55,2	
К76Т	0,02	0,001...5,300	0,1...5,3	0,01...0,15	11,9...30,5	0,2...0,5
Э76Ф	0,01	0,29...0,31	0,55...5,17	0,12...0,16	1,86...21,80	0,4...0,7
<i>Поверхность излома сварных соединений рельсов</i>						
М76	0,007	Не опр.	Не опр.	Единичные включения		
К76Т	0...0,24	0...0,48	0,1...2,8	Частицы на МП		
Э76Ф	0...0,14	0,1...2,8	0,6...3,2	Частицы на МП		

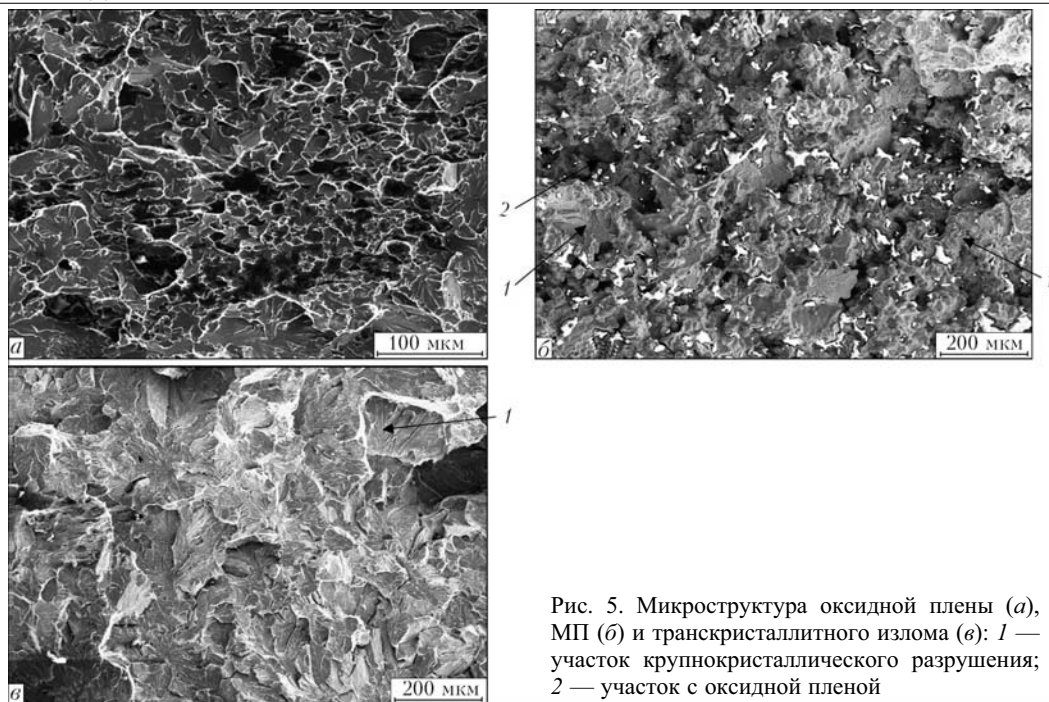


Рис. 5. Микроструктура оксидной пленки (а), МП (б) и транскристаллитного излома (в): 1 — участок крупнокристаллического разрушения; 2 — участок с оксидной пленой

находящемся в твердо-жидком состоянии. В результате по линии соединения формируется обезуглероженный и газонасыщенный слой. Это приводит к выделению свободного феррита по границам первичных аустенитных зерен и заметному снижению пластичности вследствие увеличения содержания кислорода, охрупчивающего структурные границы. Содержание свободного феррита является косвенным признаком степени изменения химического состава металла по линии соединения.

В соединениях рельсов из стали К76Т, полученных на режиме Н, ширина участка с выделениями феррита больше, чем у рельсов из стали М76 (см. рис. 3). Режимы сварки рельсов упомянутых партий идентичны, это, по-видимому, обусловлено присутствием в составе стали К76Т титана, расширяющего область существования α -фазы в сплавах железа [6].

Результаты проведенных исследований дают основание сделать вывод, что ухудшение свариваемости высокопрочных рельсов современного производства по сравнению со стандартными выпуски 1990-х гг. обусловлено одним доминирующим фактором — повышенным содержанием неметаллических включений в рельсовых сталях, особенно содержащих ванадий, титан и алюминий. В связи с этим необходимо прежде всего искать пути уменьшения объемной доли неметаллических включений и ввести соответствующие регламентирующие документы.

Из практики КСС известно [3], что для уменьшения вероятности образования в соединениях оксидных включений и МП необходимо применять мягкие режимы сварки, отличающиеся низким градиентом температурного поля. Это поз-

воляет увеличить длительность кристаллизации жидкого расплава на поверхности оплавления и облегчает удаление тугоплавких оксидных структур в процессе деформации. Такие режимы используют при КСС жаропрочных сплавов, а также высоколегированных сталей, содержащих элементы, которые образуют тугоплавкие оксиды хрома, титана, вольфрама [7]. Указанные режимы апробированы также при сварке партий рельсов, где в качестве легирующих элементов использовали хром и никель. При этом рельсы термоупрочнению не подвергались. Применение мягких режимов при сварке исследуемых партий термоупрочненных рельсов привело к снижению средних показателей испытаний на статический изгиб в связи с увеличением объемной доли феррита в металле сварных соединений. Для подавления его образования необходимы жесткие режимы нагрева с высоким градиентом температурного поля. Одновременное выполнение указанных задач на базе традиционных технологий оказалось невозможным.

Благодаря исследованиям установлено, что образование оксидных структур происходит преимущественно в местах, расположенных на поверхности оплавления, где расплав имеет минимальную толщину (рис. 6), что обусловлено взрывообразным разрушением контактов в конечной стадии их существования [3]. При взрыве происходит срыв жидкого слоя, и расплав практически отсутствует или уменьшается до сотых долей миллиметров. Продолжительность процесса кристаллизации этого слоя даже при низком градиенте температурного поля в приконтактной области минимальная, что приводит к кристаллизации расплава и образованию оксидных плен до деформации торцов деталей. Изыскание способов

получения более равномерного распределения расплава и увеличение минимальных значений его толщины способствует формированию качественных соединений при достаточно высоких градиентах температурного поля в ЗТВ. Было установлено, что взрывы происходят при максимальных значениях напряжения, понижение которых позволяет подавить взрывообразный процесс и получить более равномерное распределение расплава.

Однако при жестко заданных программах изменения напряжения его снижение может привести к прекращению процесса оплавления и переходу в нагрев сопротивлением. На основании одновременного регулирования мгновенных значений напряжения и скорости подачи разработан качественно новый процесс, названный пульсирующим оплавлением [8]. При пульсирующем оплавлении длительность периодов оплавления, характеризующих взрывообразное разрушение контактов (рис. 7, б), значительно ниже, чем при непрерывном оплавлении (рис. 7, а). При пульсирующем оплавлении за счет подавления взрывообразного разрушения контактов обеспечивается ровная поверхность оплавления, а минимальная толщина расплава δ_{\min} возрастает в 3...4 раза по сравнению с каноническим оплавлением (кривая 2, рис. 6). При этом обеспечивается более высокий КПД процесса сварки за счет уменьшения потерь энергии при разрушении контактов и увеличение концентрации нагрева. До высокой температуры нагреваются приконтактные слои металла шириной 3...5 мм (рис. 8, кривая 1) при более узкой ЗТВ, чем при непрерывном оплавлении (рис. 8, а, кривая 2). Значительно (в 2...3 раза) сокращается длительность нагрева по сравнению с базовым режимом, а ширина ЗТВ уменьшается в 1,5...2,0 раза (рис. 9). Большая часть деформации при осадке приходится на приконтактные слои, что обеспечивает более полное удаление оксидных структур. Высокая степень деформации, минимальная длительность нагрева в сочетании с высокими скоростями охлаждения способствуют формированию в металле центральной части шва более мелкозернистой структуры

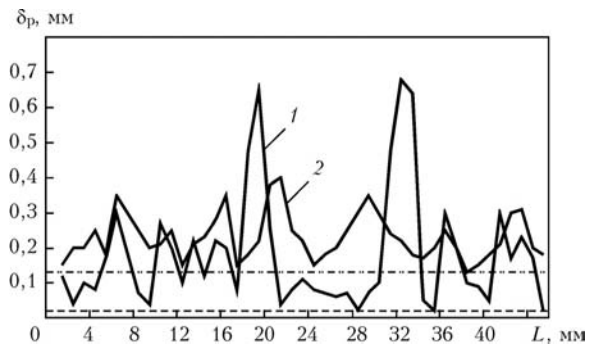


Рис. 6. Толщина δ_p жидкого металла (расплава) на поверхности оплавления головки рельса из стали Э76Ф при сварке непрерывным (1) и пульсирующим (2) оплавлением: штрихпунктирная кривая — максимальная толщина расплава δ_p при режиме П; штриховая — то же при режиме Н

и подавлению образования свободного феррита по границам зерен (см. рис. 3, в, з). Ширина включений феррита на границах зерен меньше, они не образуют сплошную сетку, как в образцах, сваренных на базовом режиме (см. рис. 3, а, б). Несмотря на увеличение скорости охлаждения, обусловленных высокими градиентами температурного поля, при сварке пульсирующим оплавлением в ЗТВ партий рельсов из сталей Э76Ф, К76Т и U75V не наблюдается появление опасных закалочных структур. Преобладает структура сорбитообразного перлита, которая на отдельных участках переходит в бейнитную. В центре шва рельсов из стали Э76Ф твердость близка к аналогичным показателям основного металла (кривая 3 на рис. 2). Результаты испытаний всех партий рельсов, сваренных пульсирующим оплавлением на установленном режиме, соответствуют нормативным значениям, указанным в табл. 4. В изломах рельсов неметаллических включений обнаружено не было.

В процессе исследований установлено, что получение стабильных показателей высокопрочных рельсов возможно при отсутствии отклонений основных параметров от заданных значений, в том числе влияющих на энерговыделение при сварке. Допустимый диапазон изменения температуры нагрева не должен превышать 50° (заштрихованная область на рис. 8).

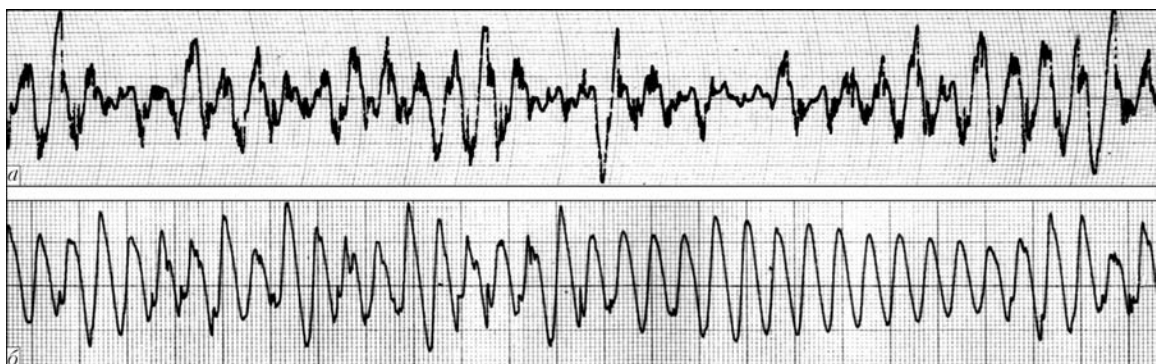


Рис. 7. Осциллограммы тока $I = 1000$ А при сварке рельсов из стали М76 непрерывным (а) и пульсирующим (б) оплавлением

Реализация технологии сварки пульсирующим оплавлением в производственных условиях стала возможной после разработки в ИЭС им. Е. О. Патона новых систем автоматического управления пульсирующим оплавлением, а также изыскания новых алгоритмов управления этим процессом. Вместо жесткого программирования основных параметров, принятых при непрерывном оплавлении или с подогревом сопротивлением, разработана самонастраивающаяся система регулирования параметров, которая позволяет в реальных производственных условиях поддерживать оптимальный режим устойчивого оплавления и нагрева независимо от изменения условий эксплуатации (колебания напряжения цепи и температуры окружающей среды).

Промышленная реализация технологии сварки пульсирующим оплавлением потребовала существенной модернизации рельсосварочного оборудования.

За последние семь лет в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны новые поколения стационарных (рис. 10, а) и мобильных (рис. 10, б, в) рельсосварочных машин, позволяющих сваривать термоупрочненные рельсы различного назначения с использованием процесса пульсирующего оплавления.

Технические показатели машин К1000, К920 и К922 приведены ниже. Новое оборудование имеет следующие существенные отличия от известных рельсосварочных машин.

Рельсосварочные машины оборудованы быстродействующим гидроприводом и регулятором напряжения, позволяющим изменять скорость движения многотонных рельсовых плетей синхронно с изменениями мгновенных значений тока и напряжения.

Сварочный контур машин имеет низкое (менее 100 мк·Ом) сопротивление за счет использования встроенных в корпуса сварочных трансформаторов и элементов вторичного контура, благодаря чему обеспечивается устойчивый процесс оплавления при низких напряжениях.

Новое поколение машин отличается большими усилиями зажатия и осадки, что позволяет выполнять сварку длинномерных плетей с одновременным их натяжением, а также с использованием повышенных удельных давлений, необходимых для сварки на жестких режимах.

Компьютеризированная система управления параметрами сварки позволяет автоматически адаптировать режимы сварки к ре-

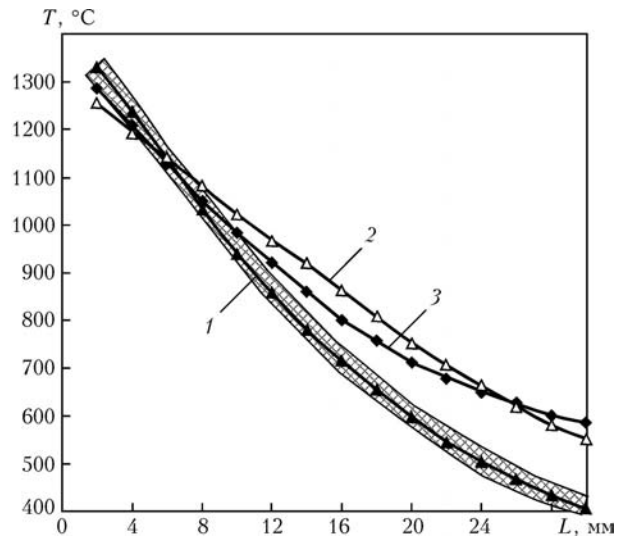


Рис. 8. Распределение температуры в ЗТВ перед осадкой при сварке рельсов Р75 на различных режимах: 1, 3 — пульсирующее оплавление (время сварки соответственно $t_{св} = 70...80$ и $110...120$ с); 2 — непрерывное оплавление с программным понижением напряжения ($t_{св} = 180...220$ с)

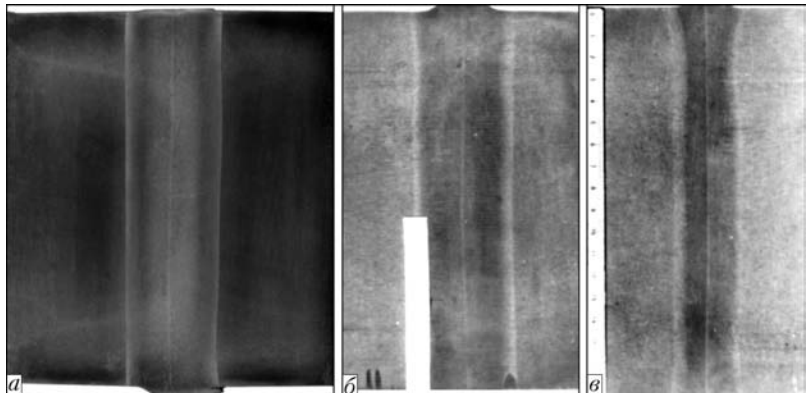


Рис. 9. Макроструктура сварных соединений рельсов: а — сталь М76 (режим Н); б, в — сталь Э76Ф соответственно режимы Н и П

Технические параметры	Типы машин		
	К920	К922	К1000
Номинальное напряжение питающей сети, В	380	380	380
Номинальный ток (ПВ 50 %), А	540	540	800
Номинальная мощность (ПВ 50 %), кВт	210	210	300
Рабочее давление в гидросистеме, МПа	125	210	160
Усилия, кН:			
осадки	1000	1200	900
зажатия	2500	2900	2000
Масса, кг	3000	3500	8800
Время сварки рельсов Р65*	180/90	180/90	180/70

* В числителе приведены значения для непрерывного оплавления, в знаменателе — для пульсирующего.

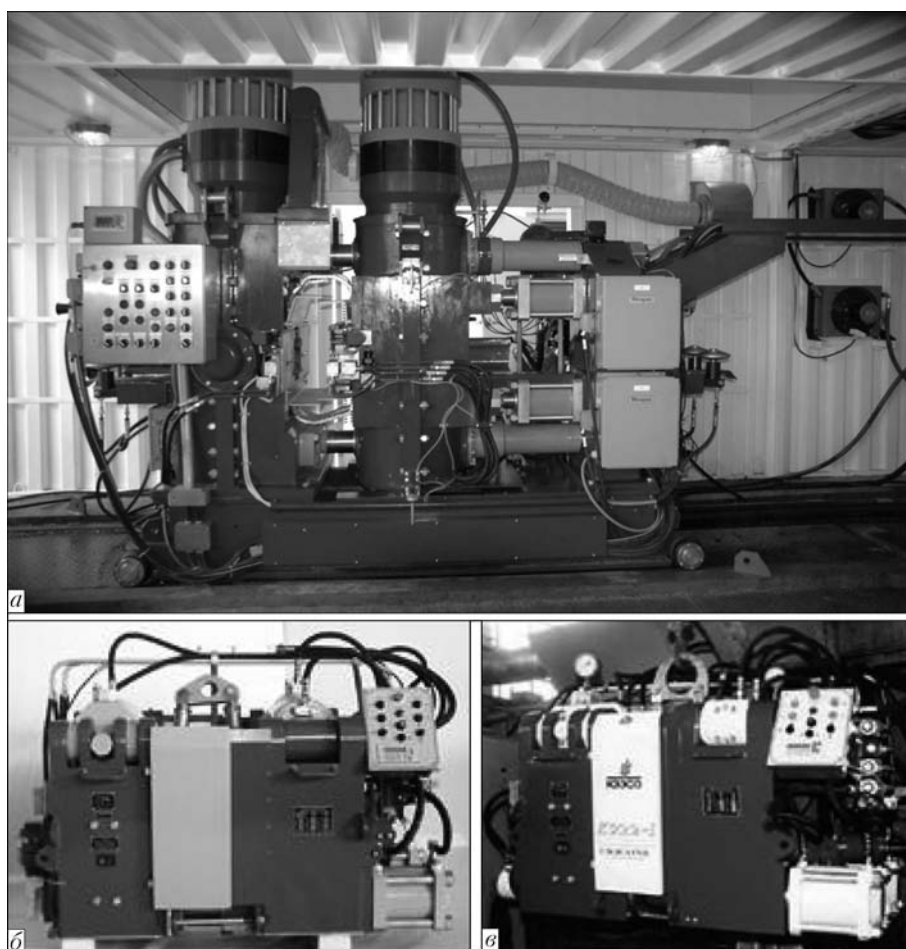


Рис. 10. Новое поколение машин для сварки рельсов: *а* — стационарная машина К1000; *б, в* — мобильные машины соответственно К920 и К922



Рис. 11. Передвижные рельсосварочные комплексы: *а* — «Holland»; *б* — «Plasser»; *в* — «Norfolk»; *г* — КСМ 005

альным изменениям условий эксплуатации (колебанию напряжения сети, сопротивлению сварочного контура, температуре окружающей среды). Система осуществляет также оценку качества соединений сразу после сварки, результаты оценки заносятся в память электронных носителей.

Новые рельсосварочные машины отличаются высокой энергетической эффективностью по сравнению с известными зарубежными образцами, где используется технология КСС с предварительным нагревом сопротивлением. Машины конструкции ИЭС им. Е. О. Патона имеют в 2...3 раза меньшую мощность и потребление электроэнергии.

С 2002 г. новое поколение перечисленных рельсосварочных машин, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона, выпускается серийно КЗЭСО, с которым институт сотрудничает на лицензионной основе. Это оборудование успешно эксплуатируется в странах СНГ и поставляется на экспорт. В Украине и РФ сейчас работают около 60 стационарных машин типа К1000 и несколько десятков полевых машин (К900 — 32; К920 — 41; К922 — 50). Около сотни рельсосварочных машин типа К920, К922, К1000 работают во многих странах дальнего зарубежья (в США, Канаде, Австрии, Китае, Австралии и др.). Маркетинг, поставка, сервис этих машин осуществляются в кооперации с канадской фирмой «Paton Holding Inc.» и американской фирмой «Холланд», с которыми имеются корпоративные соглашения. При выполнении этих работ в ИЭС им. Е. О. Патона появилось много новых интересных технологий по организации строительства и реконструкции скоростных железных дорог. При этом используются различные передвижные рельсосварочные комплексы (рис. 11), созданные на основе перечисленных сварочных машин.

Выводы

1. На свариваемость термоупрочненных рельсов современного производства существенно влияет состав неметаллических включений в рельсовой стали, которые не относятся к регламентируемым компонентам.

The problems of weldability of heat-hardened rails of modern production using the flash-butt welding method, development of technologies and equipment for their joining have been considered. It was shown that some uncontrollable impurities in rail steels deteriorate their weldability. The technology and equipment for welding of heat-hardened rails have been developed, providing the mechanical properties of welded joints on required standards.

2. Наличие в стали примесей на основе оксидов ванадия, титана и алюминия ухудшает свариваемость, поскольку способствует образованию в соединениях оксидных плен и повышению содержания свободного феррита по границам зерен первичного аустенита.

3. При сварке термоупрочненных рельсов из сталей К76Т, Э76Ф, U75V на режимах КСС с непрерывным плавлением, утвержденных нормативами МПС Украины и РФ для стандартных рельсов, обеспечить стабильное качество соединений не удастся.

4. Разработанная технология сварки термоупрочненных рельсов ПО, содержащих примеси указанного состава, позволяет достичь требуемое качество соединений.

5. Применение новой технологии сварки рельсов, базирующейся на использовании КСС ПО, требует доработки конструкции и систем управления рельсосварочных машин.

6. Разработанное новое поколение стационарных и мобильных рельсосварочных машин, обеспечивает реализацию технологий сварки пульсирующим плавлением. На КЗЭСО освоено серийное производство указанного оборудования.

1. Токарева А. Е., Виноградов Н. П. Восстановление дефектных плетей // Путь и путевое хоз-во. — 2002. — № 4. — С. 121–141.
2. Исследование структуры и металлургического качества рельсовых сталей разных производителей / К. В. Григорович, А. С. Трушников, А. М. Арсенкин и др. // Металлы. — 2006. — № 5. — С. 32–77.
3. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением. — Киев: Наук. думка, 1992. — 236 с.
4. ГОСТ Р 51685–2000. Рельсы железнодорожные новые сварные. Общие технические условия. — Введ. 18.12.2000.
5. Особенности образования ферритной полоски при сварке стали давлением в вакууме / С. И. Кучук-Яценко, Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко и др. // Автомат. сварка. — 2000. — № 6. — С. 11–17.
6. Хансен М., Андерко М. Структура двойных сплавов. — В 2 т. — М.: Металлургия, 1962. — Т. 1. — 607 с.
7. Кучук-Яценко С. И., Никитин А. С. Контактная стыковая сварка труб из коррозионно-стойких сталей // Автомат. сварка. — 1997. — № 10. — С. 9–16.
8. Пат. 46820 Украина, МПК В 23 К 11/04. Способ контактной стыковой сварки / С. И. Кучук-Яценко, А. В. Дядковский, М. В. Богорский. — Оpubл. 07.06.2002.

Поступила в редакцию 03.03.2008