

Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев, А.И. Куценко, А.А. Усольцев, А.А. Куценко

Сибирский государственный индустриальный университет

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА ПРИ СВАРКЕ РЕЛЬСОВОЙ СТАЛИ

При создании и ремонте бесстыкового железнодорожного пути применяются электроконтактная и алюминотермитная сварка рельсов. В России основную часть рельсов сваривают электроконтактным способом [1, 2].

От сварки способом непрерывного оплавления с предварительным подогревом перешли к способу пульсирующим оплавлением. Этот способ контактной сварки наиболее экономичен и технологичен в сравнении с непрерывным оплавлением. При контактной сварке рельсов (как и при других видах сварки) происходит нагрев и непрерывное охлаждение металла в зоне термического влияния (ЗТВ). Выбор технологического процесса сварки с использованием существующих методов оплавления (непрерывного или пульсирующего), определяющих линейную величину и температурные поля в ЗТВ сварного стыка, осуществляют в зависимости от химического состава стали [3, 4]. Выбор теплового режима основан на исключении образования структур закалки (мартенсита и бейнита), вызывающих дополнительные напряжения и трещины, которые в последующем приводят к разрушению рельсов [5]. В связи с этим [6, 7] особое значение приобретает разработка режимов сварки железнодорожных рельсов из хромистой стали для высокоскоростных магистралей.

Известно, что увеличение содержания хрома в стали вызывает смещение вправо *S*-образных кривых начала и конца распада аустенита на диаграмме изотермического распада аустенита, что, в свою очередь, приводит к снижению критической скорости охлаждения, при которой аустенит превращается в мартенсит [8, 9]. При быстром нагреве сварного стыка, который обеспечивается методом пульсирующего оплавления и последующим интенсивным охлаждением ЗТВ, на месте микрообъемов с повышенным содержанием хрома, никеля и углерода формируется высокопрочный слой со структурой мартенсита. Участки мартенсита [5] играют роль концентраторов напряжения и приводят к образованию дефектов в сварных стыках (развитие

усталостных трещин в головке, шейке и подошве рельса с хрупким изломом).

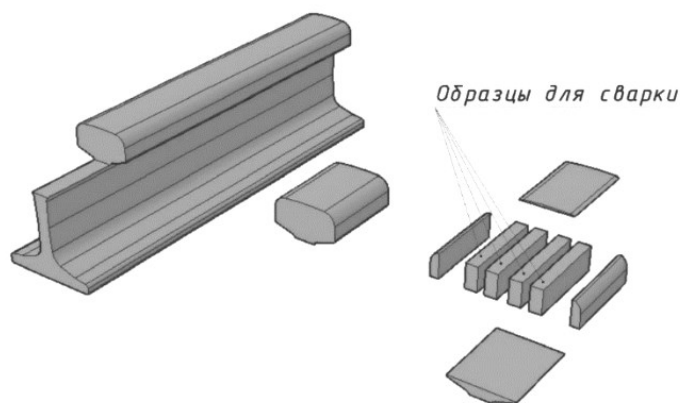
Эта проблема в процессе изготовления бесстыкового пути при сварке рельсов решается обязательной термической обработкой сварного стыка. Термообработку проводят с помощью индукционных установок, что увеличивает затраты. Этот недостаток на практике предлагается исправлять совмещением непрерывного и пульсирующего методов оплавления, изменением интенсивности нагрева при сварке и регулированием скорости охлаждения [6]. При частичном использовании метода непрерывного оплавления возможно появление дефектов сварочного характера, присущих непрерывному оплавлению.

Предлагается альтернативный способ решения проблемы, который позволит использовать любой из рассмотренных методов оплавления. После осадки и охлаждения сварного стыка в момент достижения необходимой температуры предлагается проводить изотермический отжиг путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык [10].

В настоящей работе проведено исследование влияния режимов изотермического отжига сварного соединения образцов из рельсовой стали, проводимого путем пропускания импульсов переменного электрического тока через сварной стык. Температура выдержки выбирается исходя из условия получения более мелкодисперсной структуры металла шва (во избежание получения структур закалки). Время выдержки определяется инкубационным периодом образования необходимой структуры и регулируется количеством импульсов тока.

Для исследования вырезали образцы размером $90 \times 30 \times 10$ мм из рельсовой стали (рис. 1), в дальнейшем проводили их контактную стыковую сварку при разных режимах изотермического отпуска.

Сварку образцов проводили на модернизированной машине для контактной стыковой сварки МС-2008М (рис. 2). Управление режимами сварки осуществляли с помощью персонального компьютера.

Рис. 1. Схема вырезания образцов размером $90 \times 30 \times 10$ мм

Для получения информации о термическом влиянии на структуру металла разработана методика измерения температур в зоне термического влияния во время сварки. Проводили измерение силы сварочного тока для дальнейшей корректировки режимов. Схема взаимодействия оборудования показана на рис. 3.

Машина для контактной стыковой сварки оплавлением работает следующим образом. Перед началом сварки устанавливаются и зажимаются свариваемые детали в подвижном и неподвижном зажимах с помощью устройств зажатия свариваемых деталей. Если детали зажаты правильно, оператором на пульте управления включается сварка. При этом срабатывает контактор включения сварочного тока, который, в свою очередь, включает сварочный трансформатор. Одновременно включается электродвигатель привода оплавления и осадки. Начинается

процесс оплавления. По мере сближения концов свариваемых деталей в конце оплавления и в начале осадки срабатывают концевой выключатель, предназначенный для подачи на контроллер сигнала о начале этапа термообработки, и установленный на блоке концевой выключатель. Контактор включения сварочного тока отключается. Осадка заканчивается без тока. В конце осадки срабатывает концевой выключатель, отвечающий за работу электродвигателя привода оплавления и осадки, происходит его остановка. При этом контроллер через запрограммированный промежуток времени подает напряжение на симистор для включения контактного реле, которое, в свою очередь, включает контактор включения сварочного тока таким образом, что включается сварочный трансформатор. Через зажатую деталь в зажимах от сварочного трансформатора протекает электрический ток, вследствие чего

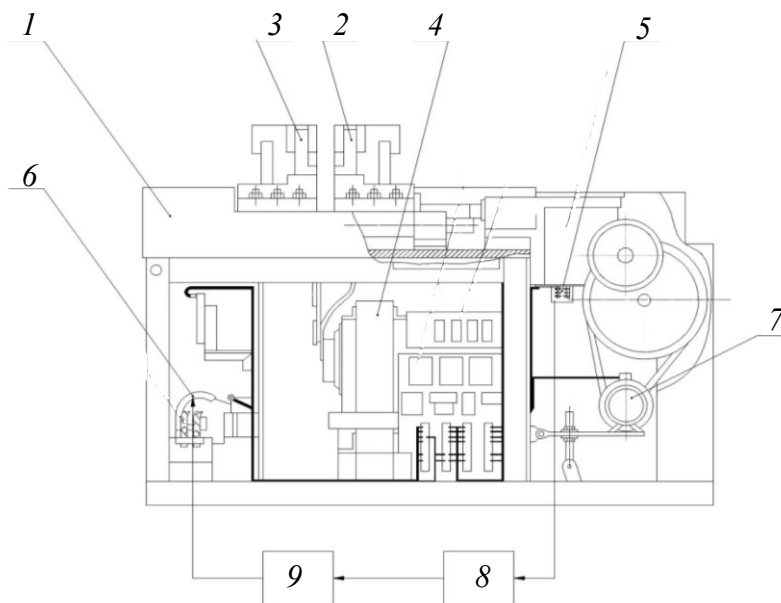


Рис. 2. Общий вид машины для контактной стыковой сварки МС-2008М:
 1 – корпус; 2 и 3 – подвижный и неподвижный зажимы; 4 – сварочный трансформатор; 5 – концевой выключатель;
 6 – контактор включения сварочного тока; 7 – электродвигатель; 8 – контроллер; 9 – симистор

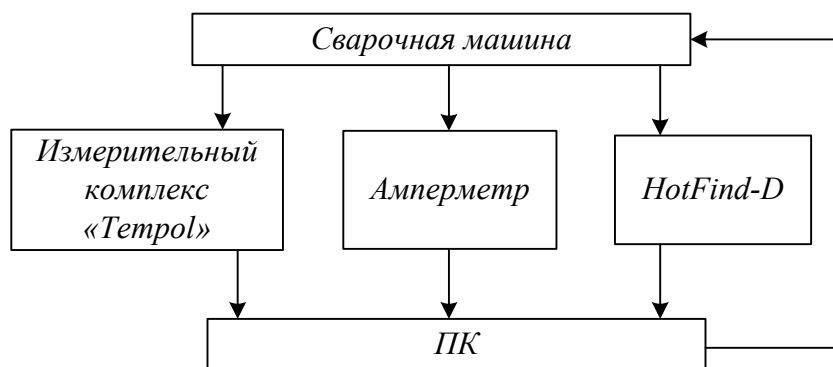


Рис. 3. Схема взаимодействия оборудования

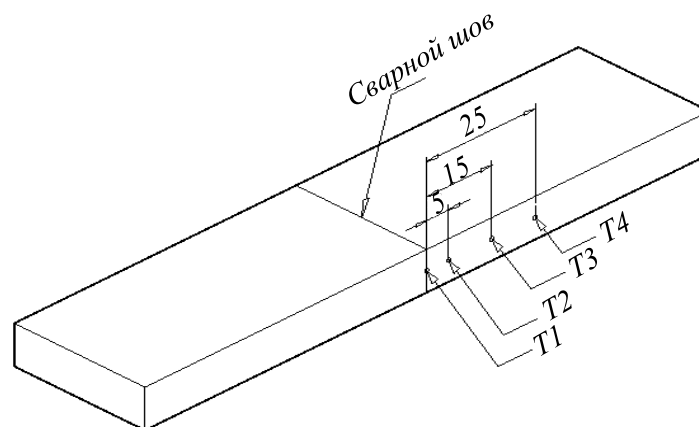
осуществляется нагрев сварного соединения до определенной температуры. По истечении заданного программой времени контроллер перестает подавать сигнал на симистор, отключает сварочный трансформатор. Проводится охлаждение сварного соединения до определенной температуры. Включение сварочного трансформатора повторяется необходимое количество раз и через необходимые промежутки времени по заданной программе, записанной в контроллере. Таким образом, происходит процесс термообработки сваренных деталей. По завершении процесса сваренное изделие оператор удаляет в специально отведенную зону для дальнейшего охлаждения.

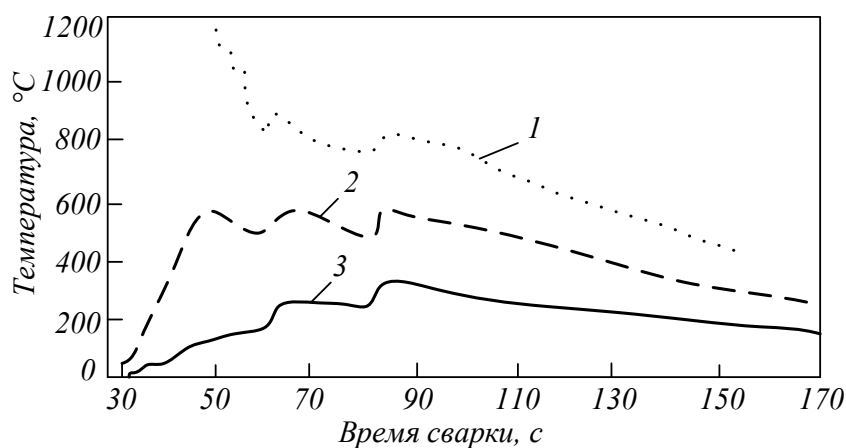
Замер температуры проводится в точках $T1$, $T2$, $T3$ и $T4$. Размеры предполагаемой зоны термического влияния изменяются при различных режимах в пределах от 15 до 25 мм от центра шва, чему соответствует максимальное расстояние установки термопары в точке $T4$. Так как невозможно измерить температуру в центре шва, эта температура измеряется тепловизором HotFind-D в точке $T1$. Расположение точек измерения температур показано на рис. 4.

Для измерения температуры металла применяются термопары ХА (хромель-алюмелевая).

Стандартная градуировка термопар ХА обеспечивается в соответствии с ГОСТ 3044 – 84 (СТ СЭВ 1059 – 85). Термопары изготавливаются из термоэлектродной проволоки диам. 0,1 – 0,5 мм пайкой (при использовании защитного кварцевого колпачка) или скруткой (при измерении оголенным спаем). Для изоляции термоэлектродов друг от друга используются кварцевая соломка (диам. 0,5 – 1,0 мм), двухканальные корундовые и фарфоровые трубки (диаметр наружный 3,5 мм).

Сбор и обработку данных от термопар осуществляют с помощью измерительного комплекса «Tempol». Используемые микропроцессорные модули позволяют выполнять измерения аналогового сигнала в интервале от 15 мВ до 2,5 В. Управление работой комплекса осуществляется через ПК на основе разработанного программного обеспечения, функционирующего в средах MS DOS и WINDOWS 95/98/2000/XP. Комплекс позволяет проводить сбор, регистрацию и хранение аналоговых сигналов на жестком диске ПК с возможностью масштабирования до 2048 каналов. Программное обеспечение позволяет устанавливать связь с модулем I-7018, который подключен к последовательному порту «COM1» компьютера через преобразователь I-7520, -

Рис. 4. Расположение точек, в которых измеряется температура с помощью тепловизора ($T1$), с помощью термопар ($T2$, $T3$ и $T4$)

Рис. 5. Пример измеренного термического цикла сварки образцов T_1 (1), T_3 (2) и T_4 (3)

и осуществлять запись измерений последовательно от восьми датчиков в таблицу заданного формата. По окончании процесса измерения полученный массив данных преобразуется в графическое изображение в зависимости от задач исследований.

Тепловизор HotFind-D позволяет проводить измерение температур до 1500 °С. Тепловизор снабжен неохлаждаемой микроболометрической матрицей в фокальной плоскости объектива разрешением 160 × 120 пикселей. Передачу видеоизображения термограмм на ПК проводят с помощью платы видеозахвата аналогового сигнала в формате NTSC частотой 60 Гц.

На рис. 5 приведен пример использования методики для определения изменения температуры в процессе сварки.

Выводы. Предложенная методика позволяет измерять термические циклы контактной стыковой сварки образцов из рельсовой стали на машине МС-2008М и проводить расчет скорости охлаждения металла шва и зоны термического влияния, а также прогнозировать получаемую структуру стали с определенным химическим составом. Измерение силы сварочного тока позволяет корректировать тепловложение при сварке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kozyrev N.A., Kozyreva O.A., Usoltsev A.A., Kryukov R.E., Shevchenko R.A. Modern Methods of Rail Welding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 253. P. 012002.
2. Козырев Н.А., Усольцев А.А., Шевченко Р.А., Крюков Р.Е., Шишкин П.Е. Современные методы сварки рельсов нового поколения // Изв. вузов. Черная металлургия. 2017. Т. 60. № 10. С. 785 – 791.
3. Mitsuru F., Hiroaki N., Kiyoshi N. Rail flash-butt welding technology // JFE Technical Report. 2015. No. 20. P. 159 – 163.
4. Saita K., Karimine K., Ueda M., Iwano K., Yamamoto T., Hiroguchi K. Trends in rail welding technologies and our future approach // Nippon steel & sumitomo metal technical report. 2013. No. 105. P. 84 – 92.
5. Железнодорожные рельсы из электростали / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: ЕвразХолдинг, Новокузнецкий металлургический комбинат, 2006. – 388 с.
6. Шур Е.А., Резанов В.А. Комплексный метод контактной сварки рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 3. С. 20 – 22.
7. Гаврилов В.В. Пути решения вопроса повышения эксплуатационной надежности рельсов для метрополитенов производства ЕВРАЗ ЗСМК // Метро и тоннели. 2012. № 1. С. 42, 43.
8. Гуляев А.П., Гуляев А.А. Металловедение: учебник для вузов. – М.: ИД Альянс, 2012. – 644 с.
9. Шевченко Р.Е. Совершенствование технологии сварки рельсовой стали с повышенным содержанием хрома. – В кн.: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 20. Ч. III. Естественные и технические науки / Под общ. ред. М.В. Темлянцева. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2016. С. 196 – 198.
10. Шевченко Р.А., Козырев Н.А., Крюков Р.Е., Патрушев А.О., Усольцев А.А. Выбор оптимальных режимов сварки железнодорожных рельсов. – В кн.: Сборник трудов XX Международной научно-практической конференции «Металлургия: технологии, инновации, качество». – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2017. С. 332 – 336.

© 2018 г. Р.А. Шевченко, Н.А. Козырев,
А.И. Куценко, А.А. Усольцев,
А.А. Куценко

Поступила 15 февраля 2018 г.