

Резервы алюминотермитной сварки рельсов



Николай ВОРОНИН
Nikolay N. VORONIN

Николай ПРОХОРОВ
Nikolay N. PROKHOROV



Ольга ТРЫНКОВА
Olga N. TRYNKOVA

Воронин Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Прохоров Николай Николаевич — доктор технических наук, профессор Московского государственного вечернего металлургического института.

Трынкова Ольга Николаевна — старший преподаватель МИИТ.

Качество рельсовой сварки, особенно на стрелочных переводах, во многом определяет эффективность, надежность и безопасность грузовых и пассажирских перевозок.

В статье на основе численных экспериментов обосновываются возможности улучшения технологии алюминотермитной сварки рельсовых нитей. Обращено внимание на некоторые неточности в технических условиях, относящихся к подобным сварочным операциям.

В транспортной системе России железные дороги играют главенствующую роль, осуществляя до 80% общего объема внутренних грузовых перевозок и порядка 40% пассажирооборота. По этим показателям железнодорожный транспорт страны занимает соответственно второе и третье места в мире.

По общему протяжению сети железных дорог Россия находится на втором месте (после США), имея около 124 тыс. км развернутой (в один путь) длины главных путей, станционных — 50,7 тыс. км, подъездных — 10,8 тыс. км [1].

Масштабная сеть не исключает дальнейшего роста протяженности дорог и объемов перевозок. На первом плане в ближайшей перспективе — создание скоростных магистралей. Решение этой задачи выдвигает новые требования к верхнему строению пути, в том числе связанные с ликвидацией стыков рельсов. Обычный стык представляет собой место, где происходит «разрыв» рельсовой нити, что, несмотря на стыковые накладки, уменьшает жесткость и увеличивает просадки. Причем при движении подвижного состава через стык происходит удар

Ключевые слова: железная дорога, алюминотермитная сварка, эксперимент, перспективная технология.

колеса в головку принимающего конца рельса. Толчки и удары в точках разрыва приводят к интенсивному износу как ходовых частей подвижного состава, так и самих рельсов.

Бесстыковой путь по сравнению со звеньевым не только лишен указанных недостатков, но и экономически эффективнее, технически надежнее.

Благодаря своим преимуществам бесстыковой путь стал основной конструкцией верхнего строения на главных линиях во всем мире, обеспечивая безопасность движения поездов, сохранность грузов, здоровье пассажиров, а одновременно и соблюдение графика движения [2]. При этом параметром, характеризующим безопасность, является бесперебойность движения поездов с заданными для каждого участка пути скоростями и количеством проходящих составов.

1.

Внедрение прогрессивных конструкций дорожного полотна, технологий ремонтно-путевых работ направлено на продление сроков службы, ресурсосбережение и снижение затрат на техническое обслуживание железнодорожного пути. К числу наиболее значимых сторон технической политики в путевом хозяйстве относятся:

- внедрение и постоянное расширение сфер применения бесстыкового пути на железобетонном подрельсовом основании с длинными, более 800 м, рельсовыми плетями (длинной, равной длине блок-участка и перегона);
- укладка стрелочных переводов с железобетонными брусьями (общее количество стрелочных переводов на главных и станционных путях более 160 тыс. шт.);
- реализация ресурсосберегающих технологий ремонтно-путевых работ с обеспечением их высокого качества за счет использования современных механизированных комплексов.

Изготовление новых бесстыковых плетей стандартной длины 800 м сопряжено с контактной сваркой на рельсосварочных предприятиях, а при удлинении плетей бесстыкового пути до длин блок-участков используются передвиж-

ные рельсосварочные машины. Однако такие машины по ряду причин не годятся для сварки плетей со стрелочными переводами.

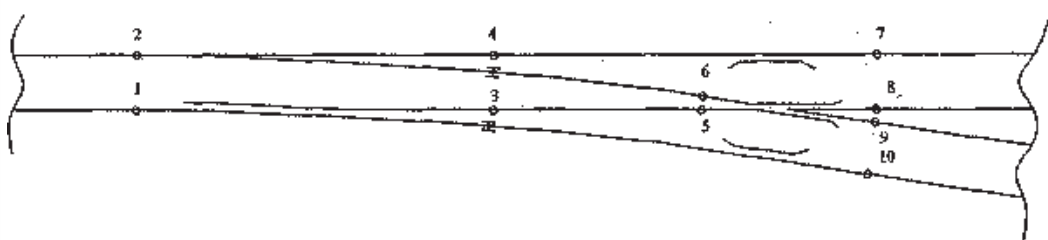
Современные стрелочные переводы изготавливаются на железобетонных брусьях, как и сам рельсовый путь. По техническим требованиям и условиям эксплуатации они должны быть сварены между собой. Кроме того, при восстановлении лопнувшей бесстыковой плети, ликвидации дефектного участка или замене временной рельсовой рубки специальной вставкой применение передвижных рельсосварочных машин оказывается экономически нецелесообразным. Поэтому единственно возможным способом восстановления пути и вваривания в него стрелочного перевода считается алюминотермитная сварка. В зависимости от типов стрелочных переводов, собранных на железобетонных брусьях, количество сварных стыков может быть различно. На рис. 1 приведены некоторые схемы расположения сварных стыков в стрелочных переводах [1].

Общая организация сварки рельсов включает подготовительные и основные работы. Подготовительные ставят своей целью контроль качества сварки определенной партией термита. Этот этап осуществляется на рельсосварочном предприятии. Основные этапы работы выполняются в «окна» различной продолжительности в зависимости от необходимого количества свариваемых стыков.

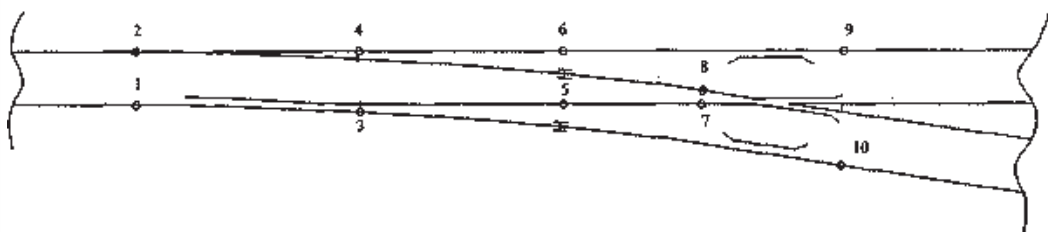
Правильный выбор материала отдельных деталей и элементов, а также технологии их изготовления обеспечивают надежность работы всей создаваемой конструкции. Если материал не удовлетворяет эксплуатационным требованиям, то деталь будет быстро выходить из строя, при этом потребуются ее замена или проведение ремонтно-восстановительных работ. Это значительно увеличивает эксплуатационные расходы, снижает производительность и надежность конструкции.

Для выбора материала детали инженеру приходится решать ряд сложных задач; включая расчет прочности разрабатываемой конструкции, анализ условий ее работы в контакте с другими деталями

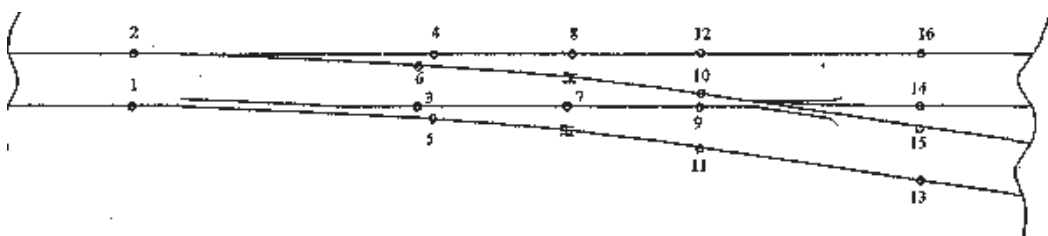




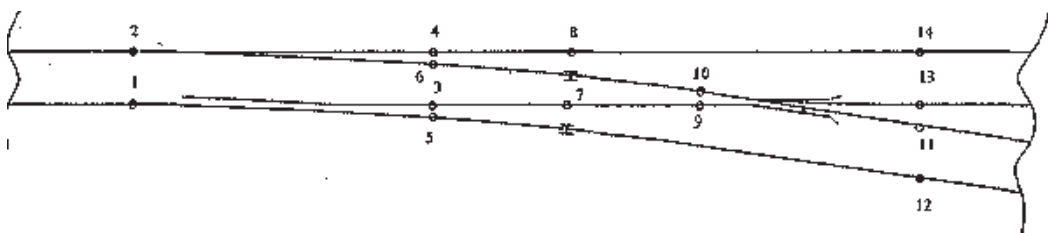
а) Р65 марок 1/11 и 1/9 проектов 2750, 2796, 2717, 2718



б) Р65 и Р50 марок 1/11 и 1/9 проектов 2764, 2771, 2285, 2768, 2561, 2773, 1848, 2766, 2721, 2769, 2772, 2642, 2643



в) Р65 марки 1/18 проекта 2870



г) Р65 марки 1/22 проекта 2832

Рис. 1. Схемы сварки рельсов в стрелочных переводах
о – стыки рельсов и их номера при сварке алюминотермитным способом;
Т – изолирующий рельсовый стык.

и внешней средой, а самое главное — технологию изготовления. При этом конструктор должен предусмотреть возможность ремонта, поскольку в процессе эксплуатации неизбежны износы и поломки отдельных деталей.

Ремонт конструкций из высокоуглеродистых сталей, связанный со сваркой и наплавкой, является более ответственной технологической операцией, чем их изготовление, так как неравномерный нагрев приводит к появлению закалочных

структур и остаточных растягивающих напряжений от термдеформационного цикла сварки и возникновению дополнительных реактивных напряжений. Высокий уровень напряжений и хрупких структур способствует зарождению и дальнейшему распространению трещин, что в конечном итоге может привести к полному разрушению детали и аварийной ситуации на дороге.

2.

Основной сложностью при замене болтовых соединений рельсов на сварные является то, что рельсовая сталь плохо поддается сварке. Требуется специальная сложная технология, обеспечивающая стабильное качество сварного соединения. К одному из таких способов относится термитная сварка, основанная на базовых положениях физической химии.

Термитная сварка использует жидкий металл определенного химического состава, получаемого в результате алюминотермической реакции.

Такие преимущества термитной сварки, как портативность оборудования и приспособлений, возможность соединять крупные заготовки на месте и почти сразу же применять сваренное изделие, были быстро оценены железнодорожниками. В начале XX века (в Германии) термитом стали сваривать рельсы, поломанные тяги, штоки и др. В России его первым объектом были трамвайные рельсы в 1915 году, а позднее, с 1925 года, сварку термитом внедрили для железнодорожных путей [2].

С появлением электроконтактной сварки термитная на железных дорогах оказалась надолго вытесненной. Началом возрождения можно считать ее применение в 1963 году (опять же в Германии) для ремонта крупных изделий.

На российские железные дороги алюминотермитная сварка пришла в 1996 году. После лабораторных и полигонных испытаний на экспериментальном кольце ВНИИЖТ руководством МПС было принято решение о возможности ее применения для сварки рельсов в стрелочных переводах, прежде всего с целью исключения в них болтовых стыков. При этом

Таблица 1

Рекомендуемое время подогрева рельсов

Температура рельса, °С	Приблизительное время нагрева, мин.
от 0 до +10	9
от +10 до +22	8
выше + 22	7

технология российской фирмы «СНАГА» стала основной.

Технологические особенности алюминотермитной сварки рельсов регламентируются техническими условиями [3]. Вначале рельсошпальную решетку расширяют на три шпалы в каждую сторону от свариваемого стыка. Концы рельсов обжигают сварочной горелкой и зачищают (проволочной ручной или механической щеткой) на длине не менее 150 мм для удаления влаги и других загрязнений. После этого рельсы выравнивают по рабочему канту и поверхности катания, оставляя между торцами зазор 25 ± 1 мм. Затем на рельсы устанавливают и закрепляют комбинированную стойку, с помощью которой позиционируют горелку и тигель. Полуформы фиксируют относительно стыкового зазора так, чтобы его центр совпал с вертикальной осью литейной формы, а сами полуформы прилегали друг к другу без ступенек по периметру стыковки. Место контакта литейной формы с рельсом уплотняют формовочной смесью.

Перед подогревом проводят регулировку пламени до нормального горения: на газовых редукторах — давление пропана 0,1 МПа и кислорода — 0,50 МПа. После этого газовую горелку устанавливают на комбинированную стойку и начинают подогрев торцов рельсов в стыке.

До заливки формы расплавленным металлом торцы рельсов в стыке предварительно разогревают до температуры 1200–1250°С. Время прогрева зависит от температуры окружающей среды и мощности газового пламени (таблица 1).

Процесс плавления термитной смеси и выпуск расплавленного металла в литейную форму происходят автоматически через 20–28 секунд после начала термитной реакции. К этому моменту подогретые концы рельсов успевают остыть до 850–900°С, что соответствует величине указанной в нормативных документах.



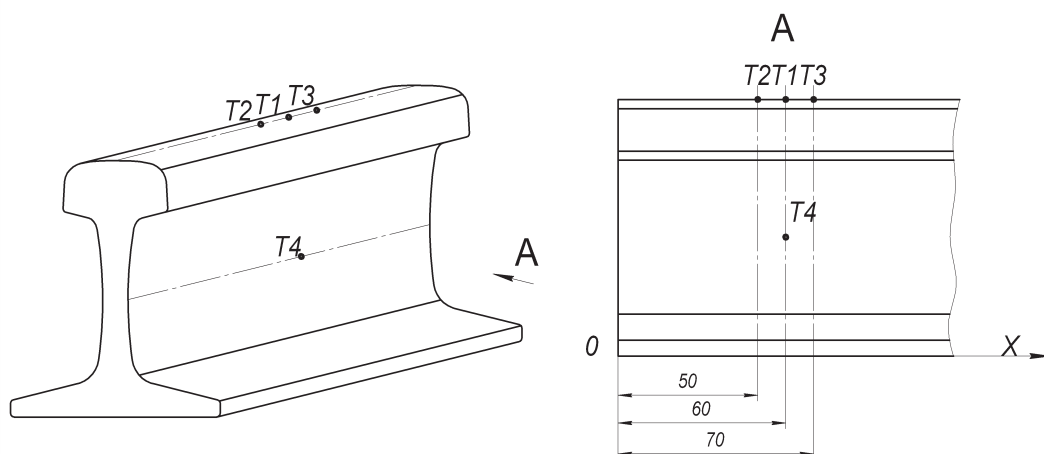


Рис. 2. Схема расположения термопар на свариваемых рельсах при проведении эксперимента.

Демонтаж комбинированной стойки и литейной формы проводят после кристаллизации металла сварного шва, которая в зависимости от массы порции термитной смеси, длится 3,0–3,5 мин. Затем головку рельса очищают от песка металлической щеткой и с помощью гидравлического обрезного станка в горячем пластическом состоянии удаляют прибыльную часть сварного шва на головке рельса, после чего рабочую часть головки подвергают шлифованию.

Рельсы изготавливают из углеродистой спокойной раскисленной стали, которую выплавляют в конверторах, мартеновских и электропечах. Такая сталь может легироваться: ванадием, кремнием, хромом, титаном.

В настоящее время большинство железнодорожных рельсов изготавливается из рельсовой стали марки М76 по ГОСТ Р 51685–2000, для которой стандартом определены следующие пределы содержания основных химических элементов: С – 0,71–0,82%; Мп – 0,75–1,05%; Si – 0,25–0,45%; Р – 0,035%; S – 0,040%; Al – 0,025%.

Наличие в рельсовой стали высокого содержания углерода при ускоренном охлаждении может приводить к образованию закалочных структур в отдельных зонах поперечного сечения рельса, снижающих пластичность. Поэтому важно знать скорости охлаждения в различных зонах сварного соединения.

3.

Для анализа температур и скоростей охлаждения была разработана программа, описывающая изменение температур в различных точках рельсов с учетом особенностей технологии алюминотермитной сварки. Верификация предполагала экспериментальные замеры температур с помощью термопар и пирометра. Пирометр не дал возможности получить значения температур с необходимой точностью. Наличие сварочной формы затрудняет процесс измерения температур в точках, расположенных под ней, так как этому препятствуют технологические операции монтажа самой сварочной формы и уплотнения мест ее сопряжения с рельсом.

Неоднократные испытания на натуральных образцах показали, что во время проведения операций монтажа сварочной формы происходит либо потеря контакта между средством и местом измерения температуры, либо обрыв проводов, ведущих от средств измерения к регистрирующим приборам. А смонтированная сварочная форма не позволяет вовремя выявить и устранить данные повреждения. Контактные термопары, расположенные на поверхности рельса, часто при сборке стыка перед сваркой или в процессе самой сварки теряли контакт, что приводило к потере значительного количества данных.

Исходя из этого, средства измерения температуры должны находиться за сва-

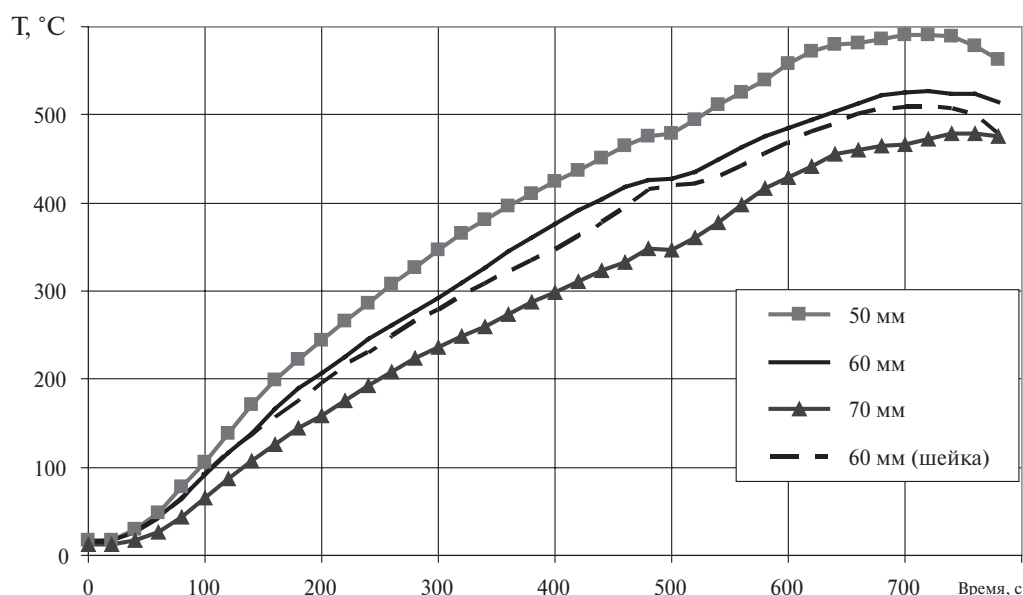


Рис. 3. Термические циклы на этапе подогрева и сварки, построенные на основе экспериментальных данных.

точной формой. Такое расположение помогает визуально контролировать работоспособность средств измерения в период подготовительных и монтажных операций. Параллельно была откорректирована методика проведения эксперимента по определению температур в ряде точек поперечного сечения рельса и по его длине [4]. Полученные значения сопоставлялись с расчетными.

С учетом возможного повреждения средств измерения температуры во время проведения операций монтажа сварочной формы и уплотнения мест сопряжения формы с рельсом минимально допустимое расстояние расположения термопар в ходе эксперимента составило 50 мм от торца рельса.

С точки зрения безопасности нахождение людей вблизи горелки на этапе подогрева нежелательно, а на этапе сварки они не должны быть ближе 5 м от места действия, поскольку горение термитной смеси происходит бурно и сопровождается выбросом искр.

Схема расположения термопар разрабатывалась с учетом возможности подтверждения или опровержения полученных ранее расчетных значений. Расчет температур в поперечном сечении пока-

зал неравномерное их распределение. Максимальные значения достигаются в головке рельса, а при переходе к шейке рельса происходит заметное понижение максимальных температур. Поэтому термопары были представлены следующим образом. Вдоль рельса на поверхности катания головки оказались три термопары. На расстоянии 50, 60 и 70 мм от торца рельса. Одна термопара получила место в средней части шейки рельса на расстоянии 60 мм от торца (рис. 2). Такое расположение термопар позволило провести измерение температур во время проведения всего процесса сварки как по длине рельса, так и в поперечном его сечении.

При проведении экспериментальных исследований из стандартных железнодорожных рельсов типа Р50, соответствующих требованиям ГОСТ Р 51685–2000, были изготовлены натурные образцы длиной 1 м каждый.

Для размещения и закрепления термопар на поверхности катания головки и в средней части шейки рельса выполнялись отверстия, соответствующие диаметрам термопар, глубиной 5 мм.

Закрепление термопар производилось с помощью специальных клиньев.



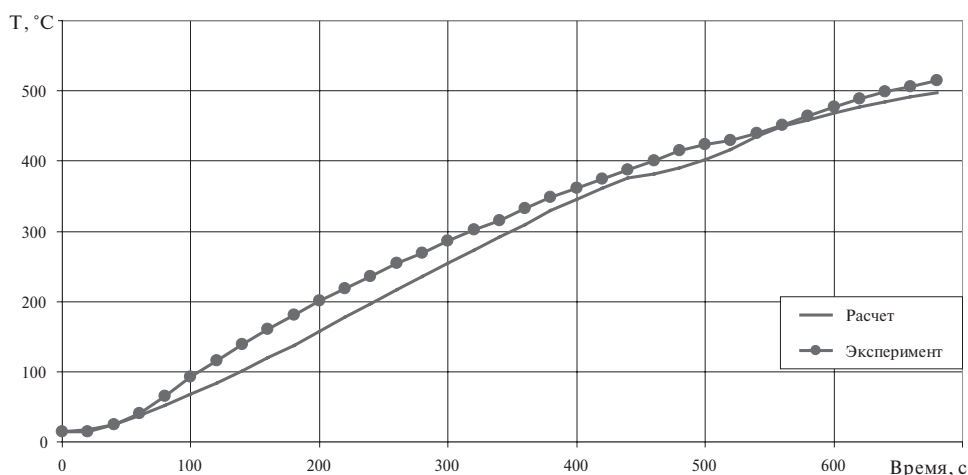


Рис. 4. Сопоставление изменения экспериментальных и расчетных температур в свариваемом рельсе на расстоянии 60 мм от торца при предварительном подогреве и сварке

В качестве инструмента для записи получаемых данных использовался ноутбук, а для их анализа и обработки — приставка “Dock Station”. Применение такого оборудования дало возможность производить и регистрировать 154 измерения температуры в секунду с каждой термопары. Измерение шло на протяжении всего процесса алюминотермитной сварки. Погрешность данных составляла $\pm 15^\circ\text{C}$.

При проведении эксперимента предварительный подогрев производился на протяжении 7 мин; технологическая пауза длилась 1 мин; разрушение сварочной формы было произведено через 4 мин после заливки расплавленной термитной смеси. Для исключения повреждения термопар завершающие операции по доводке полученного сварного соединения не проводились.

В результате проведенных экспериментальных исследований для каждого из технологических этапов были построены термические циклы (рис. 3). Окончанию предварительного подогрева газовой горелкой соответствует момент времени 420 с, а завершению технологической паузы — 480 с. Результаты измерений температур, полученные на этапе сварки, приведены для первых 300 с.

Все кривые имеют одинаковый характер: монотонно возрастают на всем временном промежутке (как в ходе пред-

варительного подогрева, так и технологической паузы). Это объясняется тем, что термопары расположены на расстоянии от нагреваемого торца, и нагрев происходит за счет тепла, перераспределяющегося от торца рельса за счет процессов теплопроводности. Теплота подходит к нужным точкам с некоторым «запозданием по времени», поэтому, хотя предварительный подогрев прекращается на отметке 420 с и до отметки 480 с длится технологическая пауза, кривые термических циклов продолжают возрастать.

Таким образом, экспериментальные исследования подтверждают, что на этапе предварительного подогрева и технологической паузы температура в поперечном сечении рельса неравномерна: головка рельса прогревается больше, чем шейка рельса.

На этапе сварки во всех точках расположения термопар температуры продолжают увеличиваться. Через 250 с после заливки расплавленного термитного металла начинается постепенное понижение температур во всех точках замера, ибо к этому моменту разрушена сварочная форма.

4.

Для сопоставления данных, получаемых при расчете с использованием разработанных моделей и вычислительных

алгоритмов, с данными экспериментальных исследований были проведены расчеты, моделирующие условия эксперимента.

Сопоставление экспериментальных данных и расчетных (с применением моделей и алгоритмов) на этапах предварительного подогрева и сварки приведено на рис. 4.

При сопоставлении средних температур, полученных экспериментально, со средними температурами, полученными путем расчета, было установлено, что на этапе предварительного подогрева максимальное процентное расхождение между экспериментальными значениями и значениями при расчете температурных полей, термических циклов и скоростей охлаждения составляет не более 15–16%.

Данный алгоритм и программа были переработаны и улучшены [5], что позволило проводить численные эксперименты при изменении ряда технологических параметров. Это дало возможность обосновать причины, вызывающие образование дефектов, и наметить пути их предупреждения. Сюда следует отнести: несплавление, образование трещин, перегрев металла и иные дефекты, возникающие из-за нарушения технологических параметров предварительного подогрева торцов рельсов.

Численные эксперименты показали, что «... с предварительным подогревом концов рельсов до температуры 800–900°С кислородно-пропановой горелкой» (пункт 2.2.7 [3]) не обеспечивается качественное сплавление основного и тер-

митного металлов в сварном соединении рельсов. Подогрев концов рельсов должен вестись до температуры 1200–1250°С, что и проводится на практике, а температура 800–900°С соответствует выпуску термитного металла в литейную форму после технологической паузы и прохождения термитной реакции. В пункте 6.1.8 [3] указано, что цвет разогреваемого металла должен быть светло-красным (900°С), а на самом деле — матово-белым или ярко-белым цветом (1200–1250°С).

Пункт 2.2.11 в том виде, как изложен в технических условиях [3], может не улучшать эксплуатационные свойства сварного стыка, а наоборот, приводить к их ухудшению из-за неправильного выбора места или температуры нагрева.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость разработки отраслевого стандарта по технологии сварки рельсов алюминотермитным методом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология алюминотермитной сварки рельсов: Учебное пособие./Н. Н. Воронин, В. В. Засыпкин, В. И. Коненков, Э. В. Воробьев, О. Н. Трынкова; Под ред. Н. Н. Ворониной. — М.: МИИТ, 2008.
2. Воронин Н. Н., Прохоров Н. Н., Трынкова О. Н. Алюминотермитная сварка рельсов//Ремонт, инновации, технология, модернизация. — 2009. — № 6.
3. Сварка рельсов алюминотермитным методом промежуточного литья//Технические условия ТУ 0921-127-01124323-2005. — М.: ВНИИЖТ, 2005.
4. Королев Р. А., Плаксина Е. В., Воронина О. Н., Воронин Н. Н. Расчетно-экспериментальная методика определения эффективной мощности подогрева при алюминотермитной сварке рельсов//Труды научно-практ. конф. «Наука — транспорту». — М.: МИИТ, 2004.
5. Прохоров Н. Н., Воронин Н. Н. Программа для оценки скорости охлаждения металлов при АТС рельсов//Свидетельство о гос. Регистрации программы для ЭВМ, № 2012610714, заявка № 2011617812 от 13.01.2012.

RESERVES OF RAIL ALUMINOTHERMIC WELDING

Voronin, Nikolay N. — D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).
Prohorov, Nikolay N. — D.Sc. (Tech), professor of Moscow State Evening Metallurgic Institute (MGVMI).
Trynkova, Olga N. — senior lecturer of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

The quality of rail welding, especially at the switches, defines efficacy, reliability, safety of freight and passenger traffic. The authors, using numerical experiments, substantiate some possible ways to improve techniques of rail aluminothermic welding. The authors underline also some inaccuracy in officially adopted technical terms of aluminothermic welding.

Key words: railway, aluminothermic welding, experiment, advanced technology.

Координаты авторов (contact information): Воронин Н. Н. — profvnn@mail.ru, Прохоров Н. Н. — (499) 153-9933, Трынкова О. Н. — black_hold@mail.ru.

