

# Сварка рельсов на железных дорогах США

Сварка рельсов как таковая не является для железных дорог новым технологическим процессом. Однако компании — разработчики и поставщики оборудования и материалов для этих целей постоянно совершенствуют выпускаемую ими продукцию в стремлении поддержать интерес к ней со стороны потребителей. Благодаря появлению новых технологий службы пути железных дорог Северной Америки получают широкий выбор технических решений при организации сварки рельсов в полевых условиях.

## Совершенствование технологий сварки рельсов и их упрочнения

В связи с возрастающими до недавнего времени потребностями экономики США в перевозках грузов увеличение провозной способности железных дорог являлось важнейшим фактором их успешной деятельности на конкурентном транспортном рынке. Однако это достигается ценой повышения нагрузки на путь, что неизбежно приводит к ускорению износа, ухудшению технического состояния и сокращению срока службы элементов пути, в том числе рельсов. Особенно чувствительны к возрастанию нагрузок сварные рельсовые стыки, сформированные в полевых условиях.

Для изучения явлений, имеющих место в сварных рельсовых стыках, и разработки методов совершенствования сварочных и послесварочных технологий Ассоциация американских железных дорог (Association of American Railroads, AAR) осуществляет в лабораториях и на полигоне для ускоренных испытаний (Facility for Accelerated Service Testing, FAST) Центра транспортных технологий (Transportation Technology Center, TTC) в Пуэбло (штат Коло-

радо) программу «Стратегическая исследовательская инициатива по совершенствованию сварки рельсов» (Improved Rail Welding Strategic Research Initiative, IRWSRI). К реализации программы привлечены специалисты ряда учебных и научно-исследовательских институтов, а также железных дорог. С их помощью необходимые испытания сварных рельсовых стыков проводятся в условиях реальной эксплуатации.

Исследования по программе IRWSRI осуществляются по трем основным направлениям:

- оценка технологий послесварочной обработки швов, обеспечивающих улучшение рабочих параметров сварных рельсовых стыков;
- оценка новых и усовершенствованных технологий сварки рельсов, разработанных и предложенных поставщиками рельсосварочного оборудования;
- разработка альтернативных технологий, способных дополнить уже используемые в полевых условиях.

### *Вибрационная обработка сварочных швов*

Испытания технологий и оборудования для упрочнения сварочных швов, проводимые в TTC, сконцен-

трированы на улучшении эксплуатационных характеристик сварных рельсовых стыков за счет применения двух различных вибрационных методов. Первый из них основан на приложении низкочастотной вибрации к поверхности рельса в непосредственной близости от места алюмотермитной сварки в процессе ее выполнения, второй предполагает высокочастотную вибрационную обработку поверхности рельса по завершении сварочного процесса в месте перехода от собственно рельса к сварочному шву.

В первом случае низкочастотная (менее 100 Гц) вибрация прилагается к головке рельса с помощью механического вибратора на расстоянии примерно 900 мм от места сварки. Вибрация снижает пористость металла в ответственной зоне за счет интенсификации перемешивания расплавленного металла внутри сварочной ванны, которое способствует вытеснению пор из зоны плавления. Вибрационная обработка начинается перед предварительным прогревом торцов свариваемых рельсов и продолжается в течение всего сварочного процесса.

В процессе исследований и лабораторного анализа в TTC было изготовлено и подвергнуто вибрационному упрочнению указанным способом несколько сварных рельсовых стыков. Далее швы рассекались для изучения изменений в микроструктуре металла и оценки влияния вибрационной обработки на пористость. Полученные результаты свидетельствуют, что вибрация существенного влияния на междендритную пористость не оказывает, но при этом оказывает положительное влияние на уменьшение общей пористости около границы плавления и в пограничных зонах шва.

В то же время в области центральной оси шва отмечалось незначительное увеличение рассеянной пористости. Для подтверждения этого явления необходимы

дополнительные испытания с большим числом образцов. Возможное влияние увеличившейся пористости в указанной зоне на длительность срока службы сварных рельсовых стыков не изучено, и в случае подтверждения этого явления необходимы дальнейшие исследования.

Во втором случае на головку рельса после формирования сварочного шва воздействует вибрация высокой частоты. Этот метод упрочнения разработан компанией *Applied Ultrasonics*, которая назвала его «технология ультразвукового ударного упрочнения» (*Ultrasonic Impact Treatment, UIT*). По мнению специалистов компании, применение метода UIT после сварки рельсов, выполненной алюмотермитным способом или непосредственно перед обработкой, или некоторое время назад, позволяет существенно повысить усталостную прочность сварных рельсовых стыков.

Этот способ разработан с целью снижения эффекта концентрации напряжений в пограничных зонах сварочных швов за счет уменьшения остаточного напряжения, смягчения локальных напряжений сжатия и продления, таким образом, срока службы сварных рельсовых стыков. При использовании технологии UIT для упрочнения рельсовых швов вибрация воздействует на границы сварочного вала вдоль шейки рельса по переходному радиусу между шейкой и подошвой и, вдоль подошвы.

К разработке указанной технологии были привлечены специалисты Техасского университета сельского хозяйства и механики (*Texas Agricultural and Mechanical University, TAMU*), которые осуществили полномасштабные усталостные испытания сварных рельсовых стыков после обработки по технологии UIT. Результаты испытаний показали существенное (от 50 до 170%) увеличение длительности срока службы обработанных сварочных швов. Столь значительный

разброс в продлении срока службы объясняется различными условиями нагружения.

Начиная с 2008 г. испытания упрочненных сварочных швов проводятся на полигоне FAST, а также в реальных эксплуатационных условиях совместно с несколькими железными дорогами.

Оборудование для упрочнения сварных рельсовых стыков методом ультразвукового ударного упрочнения довольно компактное, эта технология может быть предоставлена потребителям в виде разовой услуги или на постоянной основе. Процесс упрочнения ультразвуком каждого шва занимает в среднем примерно 8 мин. Помимо упрочнения сварочных швов, эту технологию можно применять для усиления мостовых металлических конструкций, ограждающих элементов, крестовин и других элементов стрелочных переводов, ответственных деталей ходовой части подвижного состава и т. д.

#### *Устранение дефектов в головках рельсов*

Железные дороги нуждаются в экономичных и удобных способах устранения дефектов в головках рельсов. В последние годы новые технологии и оборудование для этого предложили компании *Orgo-Thermit* и *Railtech Boutet*.

Компания *Orgo-Thermit* продолжает инновационные разработки в указанной области, результатом одной из которых является установка типа *Head Repair Weld (HRW)* для восстановления наплавкой головок рельсов на эксплуатируемых линиях, предназначенная прежде всего для устранения поперечных дефектов. Во многих случаях железным дорогам нецелесообразно вырезать дефектные участки рельсов с помощью разного рода горелок, в том числе электродуговых, так как при этом создаются зоны повышенных термических напряжений.

Компания предлагает в таких случаях сначала применять абразивно-пильное устройство, с помощью которого удаляется дефектная часть головки рельса до шейки с формированием прямоугольного выреза. После этого используется специальная литейная форма-кристаллизатор с песком и связующим составом. В ходе алюмотермитного процесса происходит заполнение пустоты в головке рельса расплавленным металлом. Основными преимуществами установки являются сокращение общей длительности работ примерно на 2,5 ч по сравнению с традиционным двухэтапным методом восстановления головок рельсов, а также то, что при этом не нарушается нейтральная температура сварки плетей бесстыкового пути и в рельсах не возникают продольные напряжения.

Данное изделие проходило длительные испытания в ТТС с интенсивным нагружением восстановленных участков рельсов в разных климатических условиях. Железным дорогам применение установки *HRW* дает возможность уменьшить длительность перерывов в движении поездов для выполнения ремонтных работ.

*Orgo-Thermit* ведет совместные работы с несколькими железными дорогами первого класса. Такое сотрудничество существенно экономит время, необходимое для создания рельсосварочного оборудования перспективных типов, поскольку железные дороги без дополнительных затрат готовы организовать его испытания и доводку в реальных эксплуатационных условиях без излишних затрат времени.

Еще одним новшеством компании *Orgo-Thermit* является установка типа *Gap Weld (GW)*, предназначенная для устранения дефектов, возникающих в местах сварки из-за несоблюдения оптимальной величины зазора между торцами свариваемых рельсов или недостаточного прогрева этих торцов перед сваркой



Рис. 1. Устранение дефекта сварного рельсового стыка с помощью установки Gap Weld

(или комбинации обоих этих нарушений сварочного процесса). При работе предлагаемой установки за счет применения специальной алюмотермитной смеси в зону сварного стыка подается большее количество тепла, что позволяет обеспечить оптимальный прогрев сваренных торцов рельсов с частичным расплавлением металла. Тем самым ликвидируются дефекты и существенно увеличивается срок службы швов. Установка имеет небольшую массу, проста в использовании и не требует высокой точности изготовления компонентов (рис. 1).

Компания располагает на территории Северной Америки четырьмя специализированными торговосервисными центрами, специалисты которых имеют большой опыт реализации продукции и предоставления фирменных услуг. В частности, в этих центрах организовано обучение персонала железных дорог — покупателей оборудования компании как в специально оснащенных аудиториях, так и в реальных условиях на действующих линиях. Программы обучения можно составлять с учетом специфических требований заказчика. Прошедший обучение персонал получает соответствующие сертификаты.

Сохраняющаяся на железных дорогах тенденция к повышению

осевых нагрузок требует от поставщиков рельсосварочного оборудования продукции, разработанной с учетом этого фактора. Как полагают, потребность в таком оборудовании будет расти, и его изготовители имеют благоприятные перспективы расширения своей деятельности. Производственные мощности Orgo-Thermit пока превышают нынешние потребности, поэтому компания всегда готова к удовлетворению будущих требований рынка.

Компания *Railtech Boutet* продолжает отработку своей установки типа *Head Wash Repair Weld (HWRW)* для устранения дефектов рабочих поверхностей головок рельсов методом оплавления. В 2008 г. в ТТС были выполнены ее лабораторные испытания, и по получении положительных результатов дальнейшие испытания в условиях, приближенных к эксплуатационным, проводились на полигоне FAST.

Исходя из успешной деятельности *Railtech Boutet* на рынке алюмотермитной сварки рельсов, администрация компании приняла решение о расширении производственных мощностей в целях увеличения объемов выпуска продукции — в первую очередь хорошо зарекомендовавших себя установок типа *CJ Crucible*, и расширения ее номенклатуры. Осуществляемые инвестиции повысят конкурентоспособность компании как на внутреннем, так и на внешних рынках.

Кроме того, компания *Railtech Boutet* планирует провести совместно с ТТС исследования по послесварочному упрочнению алюмотермитных швов с целью улучшения их механических характеристик и продления срока службы. Эти исследования в случае положительных результатов позволят железным дорогам более эффективно использовать технологии упрочнения сварных рельсовых стыков.

ТТС проводил испытания восстановленных головок рельсов на соответствие требованиям, предъявляемым к ним Американской ассоциацией строительства и текущего содержания пути (*American Engineering and Maintenance of Way Association, AREMA*). Эти испытания включали ультразвуковой контроль, испытания на статический изгиб и макроисследования структуры металла.

Ультразвуковой контроль показал незначительное увеличение пористости металла на границах оплавления в сравнении с пористостью, имеющей место в сварочных швах, выполненных обычной алюмотермитной сваркой. Это может являться следствием разницы в динамике процессов, происходящих в сварочной ванне, или различий в соотношении между площадью поверхности сварки и ее объемом при устранении дефектов. В связи с этим ТТС продолжает изучать целесообразность использования вибрационного упрочнения в местах устраненных дефектов в головках рельсов.

Для проведения испытаний на статический изгиб было выбрано по четыре образца, изготовленных с использованием технологий и оборудования каждого из упомянутых поставщиков. По одному образцу из каждой группы испытывали на растяжение со стороны подошвы рельса с приложением нагрузки к рельсу в обычном (рабочем) положении, а остальные — на растяжение со стороны головки рельса с приложением нагрузки к рельсу в перевернутом положении. Места, где были устраненные дефекты, при испытаниях на растяжение со стороны подошвы рельса выдержали нагрузку до полного использования возможностей испытательной установки — изгиб без разрушения превысил 45 мм. При испытаниях на растяжение со стороны головки рельса места устраненных дефектов выдержали

нагружение до достижения изгиба, в среднем составившего около 12 мм, после чего наступало разрушение. При этом следует отметить, что устоявшихся критериев необходимой сопротивляемости сварных швов статическому изгибу при испытаниях на растяжение головки рельса не существует.

### *Электрошлаковая сварка рельсов*

Электрошлаковая сварка рельсов представляет собой оригинальную сварочную технологию, основанную на использовании тепла, выделяемого за счет электрического сопротивления шлаковой сварочной ванны при расплавлении металла на сопрягаемых поверхностях и их последующей сварке. Эта технология весьма широко применяется при сварке крупных металлоконструкций — от элементов зданий и мостов до корпусов крупных морских судов. В настоящее время ее адаптировали применительно к сварке рельсов благодаря совместным разработкам компании Electoslag System Technology and Development (ESTD) и TTC.

Одним из достоинств электрошлаковой сварки является то, что микроструктура металла сварочного шва в общем случае аналогична получаемой при обычной алюмотермитной сварке, но имеет весьма низкую пористость и меньше инородных включений, часто появляющихся при расплавлении металла.

Начало работ в данном направлении было положено в середине 1980-х годов исследованиями Научно-технологического института штата Орегон. В 2000 г. ESTD приступила к разработке соответствующих технологий и оборудования, а в 2002 г. получила грант на продолжение этих разработок от Совета по транспортным исследованиям (Transportation Research Board, TRB) в соответствии с программой

поощрения важнейших инноваций (Innovations Deserving Research Exploratory Analysis Program, IDEA).

После этого в разработках и исследованиях был достигнут существенный прогресс, хотя добиться значимого улучшения механических характеристик сварочных швов не удавалось. Тем не менее в 2006 г. TTC официально классифицировал технологию электрошлаковой сварки в качестве дополнительной альтернативы традиционным сварочным процессам, применяемым в полевых условиях. В 2007 г. TTC и компания ESTD заключили соглашение о дальнейшем сотрудничестве в рамках программы IRWSRI.

Соглашение предусматривает четыре этапа совместных работ.

На первом этапе были исследованы выполненные по технологии электрошлаковой сварки швы с целью определения оптимальных параметров сварочного процесса. Эти исследования, как и намечалось, позволили реализовать на следующем этапе работ требуемые механические показатели сварочных швов.

На втором этапе с использованием рекомендаций, сформулированных по результатам первого, были уточнены режимы процесса сварки для проведения после этого испытаний в целях определения параметров полученных сварочных швов.

На третьем этапе продолжено совершенствование технологии электрошлаковой сварки на основе результатов второго этапа. Изготовленные при этом сварные рельсовые плети были уложены в путь на одном из путей полигона FAST для испытаний в условиях высоких осевых нагрузок.

Дальнейшее совершенствование сварочного процесса планируется осуществить на четвертом этапе, после чего предполагали начать испытания в реальных эксплуатационных условиях на действующих железных дорогах.

Проведенные в ходе реализации первого этапа исследования включали распили множества образцов сварочных швов с их металлографическим изучением, а также анализ причин дефектов в швах, выявленных при испытаниях на статический изгиб.

Результаты этих исследований показали, что микроструктура сварочных швов полностью состояла из перлита, за исключением нескольких участков в граничных зонах с мартенситной структурой. Кроме того, недостаточное расплавление металла в зоне подошвы рельса обуславливало уменьшение допустимой деформации при статическом изгибе.

В соответствии с полученными на первом этапе результатами было рекомендовано усовершенствовать управление термическим циклом процесса сварки за счет изменения конструкции блочного кристаллизатора и целенаправленного предварительного нагрева. На втором этапе эти рекомендации были реализованы, и полученные сварочные швы поступили на испытания.

### **Деятельность некоторых компаний-поставщиков**

Ниже приведены примеры нескольких новых разработок (оборудования, материалов и процессов), предлагаемых компаниями, специализирующимися на сварке рельсов.

*Chemetron Railway Products.* Это специализированное подразделение сварочных технологий компании Progress Rail Services (PRS) продолжает наращивать производственные мощности своего завода в Канзас-Сити (штат Миссури) с целью удовлетворения возрастающего спроса на контактную электро-сварку рельсов оплавлением. Увеличивается число не только поездов для доставки и разгрузки длинномерных сварных рельсовых плетей для бесстыкового пути, но и оборудования для сварки рельсов, ранее

уложенных в путь, которые используются в соответствии с заключенными Chemetron сервисными контрактами (рис. 2).

Первая 180-тонная установка постоянного тока для сварки рельсовых стыков в пути с подготовкой кромок без зазора была представлена в 2007 г. В середине 2008 г. в эксплуатации находилось уже более 10 таких устройств. Потребители довольны повышенной производительностью и надежностью новых сварочных установок Chemetron (в сравнении с обычными сварочными агрегатами с отдельными тяжкими устройствами). Для удовлетворения растущего спроса выпуск подобных установок постоянно увеличивается.

Кроме того, на действующих на заводе стационарных линиях для сварки рельсов в длиномерные плети бесстыкового пути установлены дополнительные правильные устройства. За счет этого повышено качество плетей, изготавливаемых как из новых, так и из старогодных рельсов. Принимаются также меры по ускорению отгрузки готовой продукции в целях сокращения длительности простоя на заводе плетевозных поездов железных дорог-заказчиков.

Уделяется внимание нуждам малых железных дорог и систем городского рельсового транспорта в сварке рельсов в стационарных условиях на заводе и в пути.

По мнению специалистов Chemetron, в перспективе продолжится рост потребности в работах по сварке рельсов, поскольку на железных дорогах Северной Америки всех классов по меньшей мере до последнего времени имела место тенденция к увеличению объемов перевозок. Имеются реальные перспективы увеличения поставок сварочного оборудования и услуг в другие страны.



Рис. 2. Мобильная установка компании Chemetron для сварки рельсов в пути



Рис. 3. Сварочный агрегат H1000 компании Holland L.P.

*Holland L.P.* Группа компаний *Holland's Mobile Welding Group (HMWG)* также продолжает расширение своих производственных мощностей. В частности, компания *Holland L.P.* в 2008 г. увеличила численность технических средств для сварки на восемь агрегатов, и по состоянию на середину этого года их в общей сложности насчитывалось 65 ед. Новые возможности в стыковой сварке рельсов оплавлением открылись с началом выпуска сварочных агрегатов типов H650, H1000 и H1200 Welder (рис. 3), предназначенных (в сочетании с тяжким устройством типа *Puller Lite*) для использования при сварке плетей длиной до 400 м и отличающихся низким потреблением энергии. Гидравлическое устройство *Puller Lite* развивает усилие до 160 т, с его помощью можно сваривать рельсы с относительно большим зазором.

Успешным был первый год эксплуатации «вездеходных» мобильных сварочных установок типа *All Terrain Mobile Welder (ATMW)*, оказавшейся весьма эффективной и высокопроизводительной при работах по сварке рельсов в труднодоступных местах.

Внедрение новых разработок позволило существенно повысить экономичность технологии стыковой сварки оплавлением. Объясняется это, прежде всего, увеличением производительности и снижением удельных расходов. В настоящее время компания предлагает вместе со всеми вновь изготавливаемыми и уже эксплуатируемыми агрегатами типа *ATMW* использовать переносные компактные компьютеры с целью ежедневной регистрации всех выполняемых операций. Это дает возможность получать полезную информацию о работе оборудования.

Работы по совершенствованию сварочных технологий в группе *HMWG* ведутся постоянно, что позволяет практически ежегодно осваивать выпуск нового рельсосварочного оборудования. Современный рынок сварки рельсов предъявляет к поставщикам сварочного оборудования весьма жесткие требования, поскольку все железные дороги стремятся в максимально возможной степени расширить полигон бесстыкового пути в целях устранения рельсовых стыков. В будущем такие требования, безусловно, сохранятся, поскольку объемы поездной работы в условиях повышения осевых нагрузок продолжают расти, и без улучшения этих показателей дальнейшее развитие железнодорожных перевозок весьма затруднительно.

*Материалы AAR*  
([www.aar.com/sri/SRI\\_2009.pdf](http://www.aar.com/sri/SRI_2009.pdf)); *T. Judge. Railway Track & Structures*, 2008, № 7, p. 30–33; *D. Gutscher. Railway Track & Structures*, 2008, № 10, p. 21–25.