



НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ ВАННЫМ СПОСОБОМ РЕЛЬСОВ В УСЛОВИЯХ ТРАМВАЙНЫХ И ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

Г. В. КУЗЬМЕНКО, инж., В. Г. КУЗЬМЕНКО, д-р техн. наук,
В. И. ГАЛИНИЧ, канд. техн. наук, В. М. ТАГАНОВСКИЙ, инж.
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описана новая технология сварки рельсов, разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона, приведены примеры ее использования при реконструкции и строительстве трамвайных и подкрановых путей. Отмечено, что после соответствующей проверки и получения разрешения она может рассматриваться в качестве альтернативы существующим способам сварки при выполнении работ в условиях железнодорожного пути.

Ключевые слова: электродуговая сварка, бесстыковой путь, трамвайный путь, подкрановый путь, сварка рельсов в условиях пути, плавящийся мундштук, самозащитная порошковая проволока

Бесстыковой путь — наиболее прогрессивная конструкция верхнего строения пути, главным преимуществом которого является возможность практически полной ликвидации стыков, что значительно уменьшает динамические силы и снижает сопротивление движению поездов (в среднем на 10 %). Кроме того, бесстыковой путь также увеличивает срок службы элементов верхнего строения пути (с 1,3 до 2,2 раза), сокращает расходы на ремонт пути и подвижного состава (до 35 %), экономит металл на стыковых скреплениях (5...7 т на 1 км), повышает скорость движения поездов до 160...200 км/ч и более [1]. Несмотря на то что перечисленные преимущества бесстыкового пути относятся к магистральным железным дорогам, они в той или иной степени также имеют место и при его использовании на всех видах рельсового транспорта — на путях промышленных предприятий, метрополитена, трамвайных и подкрановых.

Сварка рельсов — неотъемлемая составная часть путевых работ, оказывающая влияние на конструкцию и технико-эксплуатационные показатели верхнего строения пути. Особенности процесса сварки рельсов связаны со свойствами их материала. Рельсовые стали вследствие высокого содержания углерода плохо свариваются и склонны к образованию горячих и холодных трещин. Для их сварки требуются специальные сварочные материалы и особые технологии. Высокие требования предъявляются также к точности соблюдения температурных режимов сварки [2].

Сварной шов должен соответствовать тем же техническим требованиям, что и сам рельс. Пос-

ледний рассматривают как несущий и направляющий элемент пути, который выдерживает статические и динамические нагрузки, обеспечивает высокую плавность хода и способен противостоять износу. В связи с этим шов, как и сам рельс, должен отвечать требованиям безопасности эксплуатации и не создавать помех движению. Процесс сварки рельсов должен обеспечивать [3]:

- постоянство качества и удовлетворительные эксплуатационные характеристики сварных стыков при минимальной зависимости от квалификации сварщиков;
- максимально ограниченную общую продолжительность процесса сварки, особенно при ремонте путей, чтобы укладываться в продолжительность выделяемых для этих целей временных окон;
- возможность применения портативного сварочного оборудования, чтобы его можно было легко транспортировать и обслуживать;
- исключение расхода рельсов и необходимости перемещения их в продольном направлении;
- адаптируемость процесса к поперечным сечениям всех типов используемых рельсов, а также достаточную гибкость для применения к рельсам с различной степенью износа;
- приемлемый уровень первоначальных расходов на приобретение сварочного оборудования и текущих расходов на выполнение собственно сварки.

В настоящее время ни один из применяемых способов сварки рельсов (стыковая контактная, газопрессовая, алюмотермитная, электродуговая ванная сварка) в полной мере не удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям. Так, при стыковой контактной сварке, обеспечивающей наивысшее качество сварных соединений и высокую производительность (особенно в стационарных



условиях), используется громоздкое и дорогостоящее оборудование, что затрудняет, а зачастую делает экономически и технически нецелесообразным ее применение в полевых условиях, в частности, при выполнении ремонтных работ, когда необходимо сварить относительно небольшое количество стыков. Применение этого способа сварки усложняется также необходимостью перемещения свариваемых рельсов и расшивки путей. Существуют также определенные сложности при сварке данным способом крестовин и стрелочных переводов.

Газопрессовая сварка широко применялась в 1930–1970-х годах на железных дорогах США в основном для соединения рельсов в стационарных условиях (в цехах и депо), однако увеличение осевых нагрузок в 1980-х годах привело к существенному росту разрушений стыков, в связи с чем данный способ сварки был вытеснен стыковой контактной сваркой [4]. В настоящее время газопрессовая сварка достаточно широко применяется на железных дорогах Японии [5].

Алюмотермитная сварка, применяемая уже более ста лет для соединения рельсов различного назначения, отличается высокой мобильностью и универсальностью, однако не обеспечивает в должной мере стабильности и высокого качества сварных соединений. В настоящее время возможности улучшения этого процесса в целях повышения служебных характеристик сварных соединений практически исчерпаны. Поэтому, несмотря на многочисленные технологические усовершенствования и организационные мероприятия, предпринятые фирмами-поставщиками услуг по алюмотермитной сварке, ожидать какого-либо прорыва в данном направлении не приходится [6]. К тому же этот способ сварки в нашей стране на протяжении десятилетий не развивался, в результате чего для его применения приходится закупать достаточно дорогие импортные материалы.

В настоящее время электродуговая ванная сварка покрытыми электродами в основном широко применяется для соединения трамвайных и крановых рельсов. Однако этот способ не обеспечивает надежного качества сварных соединений, так как существенно зависит от квалификации сварщика и значительно уступает по производительности другим способам сварки. С целью повышения производительности разработан процесс полуавтоматической электродуговой ванный сварки стыков рельсов, который применяла Берлинская транспортная компания при ремонте железнодорожных путей метрополитена [7]. При этом использовался специальный удлиненный токоподводящий мундштук и самозащитная порошковая проволока. В результате производительность сварки повысилась на 30 % по сравнению с ручной электродуговой сваркой пок-

рытыми электродами. Электродуговая ванная сварка успешно применялась, в частности, при строительстве скоростной линии Ямагата–Шинкасен в Японии [8], где благодаря усовершенствованию технологии и сварочных материалов, а также применению специальной термической обработки удалось значительно улучшить качество сварных соединений. Тем не менее производительность сварки осталась на низком уровне (время сварки стыка составило 75 мин) [9]. Компанией «Nippon Steel» разработан новый процесс, призванный в перспективе заменить алюмотермитную и ручную электродуговую ванную сварку рельсов [9, 10]. Он основан на комбинации сварки в защитных газах вращающимся плавящимся электродом (сварка подошвы) и электрошлаковой сварки (сварка шейки и головки рельсов). Весь процесс осуществляется в автоматическом режиме с помощью аппарата, контролируемого компьютером.

Данная технология обеспечивает значительно более высокие механические свойства сварных соединений, чем алюмотермитная сварка. Однако время сварки стыка составляет около 100 мин, хотя имеется возможность в перспективе сократить его до 50...60 мин, что всего лишь приблизит данный процесс по производительности к алюмотермитной сварке.

Неоднократно также предпринимались попытки разработать процесс электрошлаковой сварки рельсов [11–14], однако несмотря на достаточно серьезную проработку вопроса достичь удовлетворительных результатов пока не удалось [15].

В Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины разработана новая технология сварки рельсов, получившая название автоматической электродуговой сварки ванный способом с использованием плавящегося мундштука, или сокращенно дуговой сварки плавящимся мундштуком. Его отличительной особенностью является использование самозащитной порошковой проволоки, подаваемой через продольный канал в специальном плоском плавящемся мундштуке, что позволяет выполнять сварку при зазоре в стыке 12...16 мм, а в отдельных случаях до 22 мм.

Предлагаемый способ сварки, являясь дальнейшим развитием электродуговой ванный сварки, благодаря механизации процесса позволяет в 2...3 раза увеличить производительность работ и одновременно значительно улучшить качественные показатели сварных соединений, сохраняя высокую мобильность и универсальность оборудования.

В первую очередь он предназначен для сварки путей промышленных предприятий, трамвайных (в том числе скоростного движения) и подкрановых путей, а также в перспективе после соответствующей проверки и получения допуска — для выполнения оперативных ремонтных работ на ма-



Рис. 1. Аппарат APC-4 для сварки рельсов

гистральных железных дорогах. Разработано специализированное оборудование — аппарат APC-4 (рис. 1).

Технические характеристики аппарата APC-4

Номинальное напряжение питающей сети постоянного тока, В	24
Мощность, потребляемая источником, кВт·А, не более	15 (3×380 В)
Номинальный сварочный ток, А, при ПВ = 100 %	350
Диаметр применяемой порошковой проволоки, мм	2,4
Пределы регулирования скорости подачи электродной проволоки, м/ч	50...300
Скорость перемещения электрода, м/ч	4...12
Поперечный ход электрода, мм	180
Частота колебаний электрода, Гц	0,5...2,0
Амплитуда колебаний конца электрода, мм	0...20
Габаритные размеры ДФШФВ, мм	1320×520×850
Масса аппарата без проволоки и башмаков, кг, не более	40

Он отличается портативностью и благодаря сменной формирующей оснастке легко перенастраивается на сварку рельсов различных типоразмеров. В качестве сварочного источника используется инвертор ФОРСАЖ-500 Рязанского государственного приборного завода. Питание может осуществляться как от трехфазной сети напряжением 380 В, так и от автономного электрогенератора мощностью 25...30 кВт·А, при этом потребляемая при сварке мощность составляет до



Рис. 3. Сварка подкрановых путей



Рис. 2. Схема перемещения мундштука при электродуговой сварке рельсов ванным способом с использованием плавящегося мундштука

15 кВт·А. Среднее машинное время сварки стыка рельсов типа Р65 составляет около 20 мин, что сводной бригаде из пяти человек (два оператора-сварщика и три рабочих-путейца) позволяет достигнуть производительности до 16 стыков за смену.

Сварку осуществляют плавящимся мундштуком, совершающим возвратно-поступательные перемещения переменной амплитуды (рис. 2), благодаря чему обеспечивается полный провар свариваемых кромок по всему сечению рельса. Сварку подошвы выполняют на керамической подкладке многопроходной сваркой, после чего специальным рычажным механизмом без прерывания процесса осуществляют прижатие медных башмаков, обеспечивающих формирование боковых поверхностей шва при сварке шейки и головки рельсов.

В большинстве случаев предварительный подогрев перед сваркой не проводится, лишь при температуре ниже +5 °С требуется подогрев стыка до 250...300 °С, при этом сварку можно выполнять при температуре окружающего воздуха до -5 °С.

Дуговая сварка плавящимся мундштуком ранее была внедрена при монтаже подкрановых путей балкерного терминала Туапсинского торгового морского порта (2009–2010 гг.) и Ильичевского морского рыбного порта (2011 г.) (рис. 3). На этих объектах выполняли сварку стыков крановых рельсов КР100 и КР120 (рис. 4).

На протяжении 2009–2011 гг. данным способом также было сварено более 900 стыков рельсов Р65, Т62 (рис. 5, а, б) и бесшпечных рельсов низкого профиля ЛК-1 (рис. 5, в) при реконструкции линии скоростного трамвая в Киеве и трамвайных путей во Львове.

Разработанные специальные сварочные материалы и технология сварки обеспечивают достаточно высокие показатели механических свойств сварных



Рис. 4. Крановые рельсы КР100 (а, б) и КР120 (в, г) после сварки (а, в) и шлифовки (б, г)

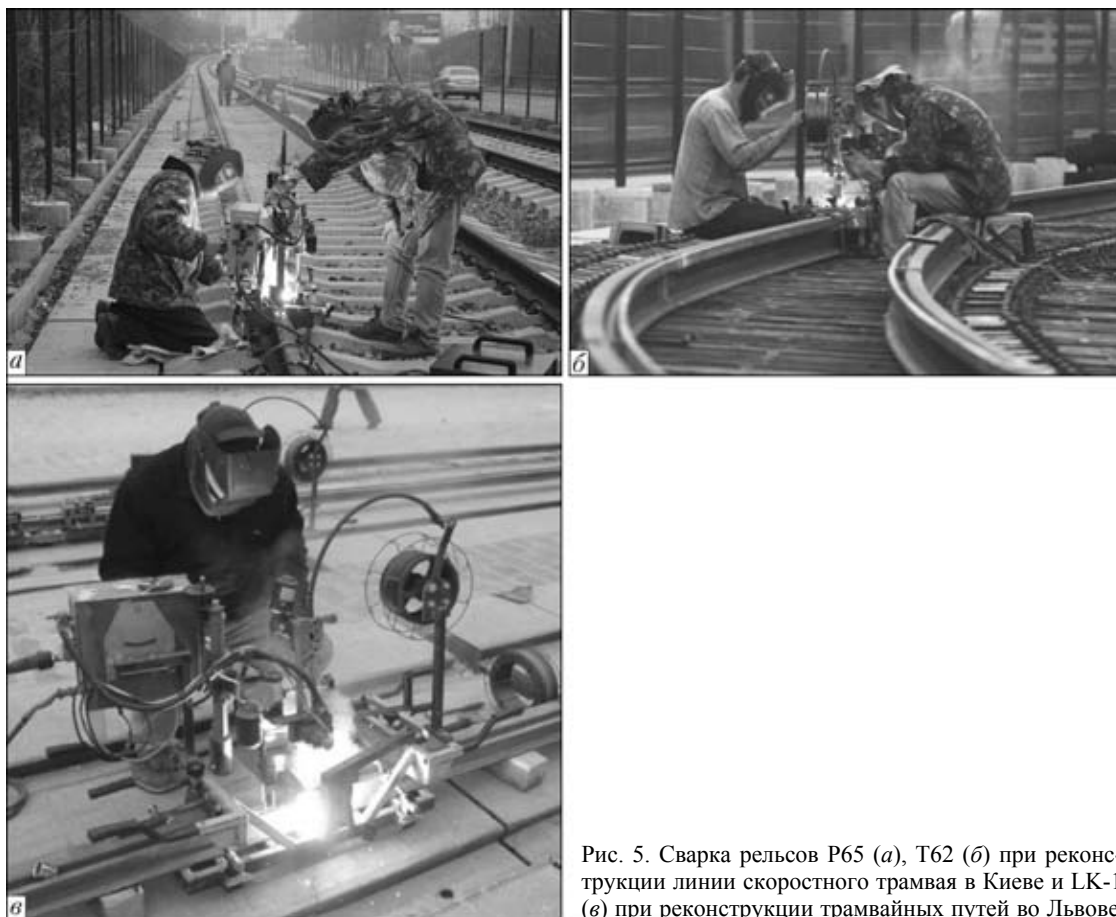


Рис. 5. Сварка рельсов Р65 (а), Т62 (б) при реконструкции линии скоростного трамвая в Киеве и ЛК-1 (в) при реконструкции трамвайных путей во Львове



соединений. Так, твердость металла шва сварного соединения рельсов Р65 составляет $HV\ 260\dots320$; предел прочности металла шва — $800\dots900$ МПа. Разрушающая нагрузка при испытании рельсов на статический изгиб составляет $1500\dots1650$ кН при прогибе $16\dots22$ мм.

Преимуществами данного способа сварки являются:

- более высокое и стабильное качество сварных соединений по сравнению с ручной дуговой ванной и алюмотермитной сваркой;
- высокая производительность — до 16 стыков за смену;
- не требуется защитный газ или флюс;
- не требуется подогрев (при температуре $+5$ °С и выше) и термическая обработка стыка;
- низкое энергопотребление (потребляемая мощность до 15 кВт·А);
- легкое перенастраивание оборудования для сварки рельсов различных типоразмеров;
- высокая мобильность, что особенно важно при выполнении ремонтных работ.

Таким образом, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона новый процесс электродуговой сварки рельсов ванным способом плавящимся мундштуком, благодаря своим преимуществам, может рассматриваться в качестве альтернативы существующим способам сварки при выполнении работ в условиях пути.

1. *Будівництво та реконструкція залізничної мережі України для збільшення пропускної спроможності та запровадження швидкісного руху поїздів* / М. Д. Костюк, В. В. Козак, В. О. Яковлев та ін. — К.: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 2010. — 216 с.
2. *Свойства сварных соединений рельсовой стали при электродуговой сварке* / В. Д. Позняков, В. М. Кирьяков,

- A. А. Гайворонский и др. // Автомат. сварка. — 2010. — № 8. — С. 19–24.
3. *Sun J., Davis D., Steel R.* TPCI searching for improved in-track welding methods // Railway Track & Structures. — 2001. — № 1. — P. 13–15.
4. *Sun J., Kristan J.* Gas-pressure welding: is it feasible for North American railroads? // Ibid. — 2003. — № 2. — P. 12–14.
5. *Yamamoto R.* Advances in gas pressure welding technology for rails // Railway Technology Avalanche. — 2007. — 17, № 3. — 99 p.
6. *Lonsdale C. P.* Thermit rail welding: history, process developments, current practices and outlook for the 21st century (PDF) // Proc. of the AREMA 1999 annual conf. — The American railway engineering and maintenance-of-way association. — 1999. — Sept. — P. 2.
7. *Stronger than a storm* // Weld+vision. — 2007. — № 19. — P. 14–15 (яп. яз.).
8. *Takimoto T.* Latest welding technology for long rail and its reliability // Tetsu-to-Hagane. — 1984. — 70, № 10. — P. 40.
9. *Development of field fusion welding technology for railroad rails* / М. Okumura, K. Karimine, K. Uchino, N. Yurioka // Nippon Steel Techn. Rept. — 1995. — 65, № 4. — P. 41–49.
10. *Steel welding technologies for civil construction applications* / H. Tachikawa, T. Uneta, H. Nishimoto et al. // Ibid. — 2000. — 82, № 7. — P. 35–41.
11. *Светлополянский Ю. И.* Полуавтоматическая электрошлаковая сварка рельсов // Автомат. сварка. — 1966. — № 3. — С. 53–54.
12. *Коперман Л. Н., Муканаев К. К.* Электрошлаковая сварка крановых рельсов // Свароч. пр-во. — 1967. — № 5. — С. 32.
13. *Turpin B., Danks D.* Electroslag field welding of railroad rail. Contract Number HSR-37. — Transportation Research Board, Washington, D.C., Jan. 2003.
14. *Gutscher D., Danks D., Turpin B.* Electroslag welding: a potential alternative to conventional rail welding // Proc. technology digest TD-08-043. — Association of American railroads, transportation technology center, Inc., Pueblo, Colo, Oct., 2008.
15. *Gutscher D.* Development and evaluation of electroslag welding for railroad applications // Railway Track and Structures. — 2009. — № 11. — p. 53–58.

Advantages and drawbacks of both existing rail welding methods and some of those under development are considered. Description of the new rail welding method developed by the E.O.Paton Electric Welding Institute is presented. It is expected that after appropriate verification and authorisation this method can be regarded as a serious alternative to the existing welding methods for performing field operations.

Поступила в редакцию 19.12.2011