

## ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ СВАРКА И НАПЛАВКА ПРИ РЕМОНТЕ РЕЛЬСОВ КИЕВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

Г. В. КУЗЬМЕНКО<sup>1</sup>, В. М. ТАГАНОВСКИЙ<sup>1</sup>, В. Л. СИДОРЕНКО<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>КП «Киевский метрополитен». 02093, г. Киев, ул. Бориспольская, 20-а. E-mail: C.Sidorenko@metro.kiev.ua

Эксплуатация линий метрополитена имеет свои особенности. Наиболее ответственным элементом пути являются рельсы, в которых особенно напряженное место — стыки. Уменьшение количества болтовых соединений стыков существенно снижает вероятность образования дефектов в рельсах. Приведен опыт Института электросварки по применению в киевском метрополитене нового способа соединения рельсов — автоматической электродуговой сварки ванным способом плавящимся мундштуком. Он обеспечивает большую производительность сварки по сравнению с алюмотермитной сваркой и требуемые механические свойства соединений. Восстановление поверхностей рельсов и деталей стрелочных переводов рекомендуется выполнять полуавтоматической дуговой наплавкой самозащитной порошковой проволокой. Библиогр. 4, табл. 1, рис. 3.

*Ключевые слова:* дуговая ванная сварка, дуговая наплавка, стыки рельсов, дефекты, восстановление поверхности рельсов

В современной транспортной инфраструктуре г. Киева метрополитен является наиболее надежным видом транспорта, способным перевозить максимальное количество пассажиров в единицу времени. На его долю приходится более 50 % общего объема городских пассажирских перевозок. Сегодня киевский метрополитен занимает 24-е место в мире по пассажиропотоку, при этом является всего лишь 49-м по длине линий. По состоянию на 2017 г. киевский метрополитен имеет три действующие линии, суммарная эксплуатационная длина которых 69,65 км, с 52 станциями, а среднесуточные перевозки пассажиров превышают 1,3 млн человек [1].

Киевский метрополитен представляет собой многопрофильное предприятие, современный сложный инженерный комплекс. В его составе действуют 11 эксплуатационных служб, 3 электродепо (ТЧ-1 «Дарница», ТЧ-2 «Оболонь» и ТЧ-3 «Харьковское»), вагоноремонтный завод (ВРЗ), дирекция строительства метрополитена.

Устройство пути, эксплуатационные условия его работы и особенности взаимодействия пути и подвижного состава на линиях метрополитена существенно отличаются от таких же на магистральном железнодорожном транспорте.

Железнодорожный путь в киевском метрополитене в основном размещен в туннелях при небольшой протяженности главных путей на поверхности (около 9 %). Длина перегонов между станциями составляет от 1,0 до 2,5...3,0 км, что гораздо меньше по сравнению с магистральными железными дорогами, где длина перегонов обычно составляет от 6,0 до 10...15 км и больше. Такая

плотность размещения станций обуславливается необходимостью создания пассажирских потоков в условиях плотной городской застройки.

Эксплуатационные условия на линиях метрополитена достаточно напряженные: при относительно небольших осевых нагрузках на рельсы (статическая нагрузка  $P_c = 150$  кН, динамическая  $P_d = 172$  кН) средняя грузонапряженность приближается и, в некоторых случаях, превышает среднюю грузонапряженность на магистральных железных дорогах (например, на киевском метрополитене средняя грузонапряженность достигает  $\Gamma_{cp} = 25,23$  млн ткм/км брутто в год, в то время как на магистральных линиях «Укрзалізниці» (УЗ) этот показатель составляет 17...17,8 млн ткм/км брутто в год, а на главных путях магистральных линий УЗ — 35...45 млн ткм/км брутто в год). При этом интенсивность движения поездов в метрополитене в часы «пик» достигает 40 пар поездов в час, а в среднем 352 пары поездов в сутки, которая значительно превышает этот показатель на путях магистральных железных дорог. Скорости движения поездов достигают 70...80 км/ч, что близко к скорости грузовых и пригородных поездов на магистральном транспорте.

Рельсы — основной и наиболее ответственный элемент верхнего строения пути. Назначение рельсов — направлять колеса подвижного состава, непосредственно воспринимать, распределять и передавать нагрузку от колес на подрельсовое основание.

Места соединения рельсов между собой называют стыками. По конструкции различают стыки температурные, изолирующие и сварные.

В температурных стыках между концами рельсов, соединенных накладками, оставляют зазоры для возможности изменения длины рельсов при изменении температуры. В результате разрыва цельности и изменения изгибной жесткости рельсовых нитей в болтовых стыках при проходе колес подвижного состава по ним возникает излом упругой линии рельсов и дополнительное ударно-динамическое воздействие колес на путь. Поэтому стык является наиболее напряженным местом пути. Около 35...50 % затрат труда по содержанию пути связано с наличием стыков. Кроме того, значительная часть всех дефектов рельсов, которые возникают в процессе их эксплуатации, развиваются именно в районе стыков. Следовательно, уменьшение количества болтовых соединений стыков путем замены их на сварные в итоге существенно снижает интенсивность образования дефектов в рельсах в процессе их эксплуатации.

В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины для замены болтовых стыков предложен новый способ сварки рельсов — автоматическая электродуговая сварка ванным способом плавящимся мундштуком [2]. Этот способ обеспечивает более высокие свойства сварных соединений, чем традиционные ручная дуговая и алюмотермитная сварка, и уже нашел применение при сварке трамвайных и подкрановых путей [3].

Так как поверхность рельсов в районе стыка подвергается большему износу, чем вся рабочая поверхность рельсов, которая значительно дольше сохраняет свои эксплуатационные характеристики, восстановительная наплавка отдельных участков элементов рельсового пути обходится дешевле, чем замена этих элементов новыми.

Ремонт рельсов является одним из наиболее экономически выгодных способов продления срока их службы. Он проводится в процессе эксплуатации без выемки их из колеи, а также с выемкой при разных работах, при этом первый вариант с экономической точки зрения является предпочтительным.

Самым популярным и универсальным способом ремонта и восстановления изношенных поверхностей рельсов и деталей стрелочных переводов является наплавка. Железными дорогами наплавка широко применяется как средство продления срока службы рельсов и других металлических элементов верхнего строения пути [4]. Для этих целей многие годы традиционно используется ручная электродуговая наплавка покрытыми электродами. Данный способ достаточно успешно применяется там, где объемы ремонтных работ относительно невелики, и в местах, где к зоне ремонта доступ затруднен. Там же, где объемы вну-

шительны, применяется полуавтоматическая электродуговая наплавка самозащитной порошковой проволокой.

Специалистами ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины и службой пути, туннельных сооружений и строений КП «Киевский метрополитен» было предложено применить для ремонта рельсов метрополитена автоматическую электродуговую наплавку самозащитной порошковой проволокой, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с ручной электродуговой наплавкой штучными электродами и полуавтоматической наплавкой, а именно: высокая производительность труда, культура производства и качество наплавочных работ. Так как процесс является непрерывным, количество дефектов в наплавленном металле и околошовной зоне сводится к минимуму, значительно сокращается расход сварочных материалов, уменьшается время на механическую обработку восстановленного наплавкой участка и не требуется предварительного подогрева, что сокращает общее время ремонта.

На протяжении 2013–2015 гг. в рамках Целевой комплексной программы НАН Украины «Проблемы ресурса и безопасности эксплуатации конструкций, сооружений и машин» сотрудниками ИЭС им. Е. О. Патона совместно со службой пути, туннельных сооружений и строений КП «Киевский метрополитен» проведены исследования и опытные работы, целью которых было создание технологий ремонта дефектов рельсов наплавкой и ликвидации температурных болтовых стыков при помощи автоматической дуговой сварки в условиях действующих путей метрополитена. Было разработано и изготовлено опытное оборудование (рис. 1, 2), отличающееся высокой мобильностью, необходимой для выполнения оперативных ремонтных работ, в том числе в условиях туннелей.

На основании согласованных технических заданий была разработана необходимая техническая документация — Технологические регламенты



Рис. 1. Комплект опытного оборудования для автоматической дуговой наплавки рельсов порошковой проволокой



Рис. 2. Автоматическая электродуговая сварка рельсов ваннным способом плавящимся мундштуком в туннеле киевского метрополитена

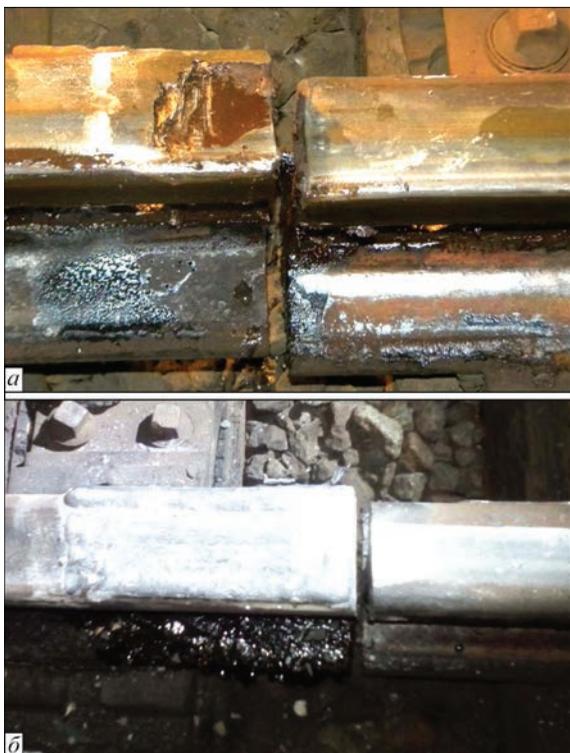


Рис. 3. Дефект рельса 17.1 (а) и внешний вид конца рельса после наплавки (б)

«Выполнение опытных работ по восстановлению элементов пути электродуговой наплавкой порошковой проволокой на путях метрополитена г. Киева» и «Выполнение опытных работ по ликвидации температурных стыков рельсов автоматической электродуговой сваркой ваннным способом плавящимся мундштуком на путях метрополитена г. Киева». Также в лабораторных условиях были сварены контрольные образцы рельсов Р50 и Р65, предоставленные киевским метрополитеном, которые прошли испытания на трехточечный поперечный изгиб на киевском рельсосварочном предприятии службы пути Юго-Западной железной

**Результаты испытаний контрольных образцов сварных стыков рельсов на трехточечный поперечный изгиб**

Зона растяжения натурных образцов на пролете 1 м	Разрушающая нагрузка для рельсов типа, кН		Стрела прогиба, мм
	50Р	Р65	
Подшва (нагружение на головку)		1650	24
Головка (нагружение на подшву)		1380	16
Подшва (нагружение на головку)	1160		22
Головка (нагружение на подшву)	860		15

дороги. Результаты испытаний (таблица) соответствовали требованиям Регламента.

В ноябре-декабре 2016 г. на подземных участках всех трех линий киевского метрополитена было сварено 5 стыков рельсов Р50 и 10 стыков рельсов Р65, а в 2017 г. на подземных и открытых участках выполнен ремонт 9 дефектов в виде выкрашиваний и отслоений металла в стыках (код дефекта 17.1 по ЦП/0061 «Класифікація і каталог дефектів і пошкоджень рейок залізниць України»). Указанный тип дефекта (рис. 3) является одним из наиболее распространенных (около 16 % от общего количества дефектов рельсов на действующих путях киевского метрополитена).

В настоящее время сваренные стыки и отремонтированные рельсы находятся в опытной эксплуатации и проходят регулярный визуальный и ультразвуковой контроль. Результаты эксплуатации будут учтены при разработке документации, необходимой для дальнейшего промышленного внедрения указанных технологий при ремонте путей киевского метрополитена.

**Список литературы**

1. Київський метрополітен, офіційний сайт <http://www.metro.kiev.ua>
2. ТУ У 27.1-34867717-001:2012 Автоматичне дугове зварювання ванним способом плавким мундштуком стиків рейок.
3. Кузьменко В. Г., Кузьменко Г. В., Галинич В. И., Тагановский В. М. (2012) Новая технология электродуговой сварки ваннным способом рельсов в условиях трамвайных и подкрановых путей. *Автоматическая сварка*, **5**, 40–44.
4. Крейнис З. Л., Коршикова Н. П. (2001) *Техническое обслуживание и ремонт железнодорожного пути. Учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта*. Москва, УМК МПС России.

**References**

1. Kiev metro. <http://www.kiev.ua> [in Ukrainian].
2. TU U 27.1-34867717-001:2012: Automatic consumable electrode arc bath welding of rail joints [in Ukrainian].
3. Kuzmenko, V. G., Kuzmenko, G.V., Galinich, V.I. et al. (2012) New technology of electric arc bath welding of rails on tram and crane tracks. *The Paton Welding J.*, **5**, 33-36.
4. Krejnis, Z.L., Korshikova, N.P. (2001) *Maintenance and repair of railway: Manual*. Moscow, UMC MPS Russia. ISBN 5-89035-050-1 [in Russian].

Г. В. Кузьменко, В. М. Тагановський, В. Л. Сидоренко

ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України.  
03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

ЕЛЕКТРОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ І НАПЛАВКА  
ПІД ЧАС РЕМОНТУ РЕЙОК  
КИЇВСЬКОГО МЕТРОПОЛІТЕНУ

Експлуатація ліній метрополітену має свої особливості. Найбільш відповідальним елементом шляху є рейки, в яких особливо напруженим місцем є стики. Зменшення кількості болтових з'єднань стиків істотно знижує ймовірність утворення дефектів у рейках. Наведено досвід Інституту електрозварювання по застосуванню в київському метрополітені нового способу з'єднання рейок — автоматичного зварювання ванним способом плавким мундштуком. Він забезпечує велику продуктивність зварювання в порівнянні з алюмотермічним зварюванням і необхідні механічні властивості з'єднань. Відновлення поверхонь рейок і деталей стрілкових переводів рекомендується виконувати напівавтоматичним дуговим наплавленням самозахисним порошковим дротом. Бібліогр. 4, табл. 1, рис. 3.

*Ключові слова:* дугове ванне зварювання, дугове наплавлення, стики рейок, дефекти, відновлення поверхні рейок

G.V. Kuzmenko<sup>1</sup>, V.M. Taganovskii, V.L. Sidorenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine.  
11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine.  
E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>CE «Kiev metro», 20-a Borispolskaya Str., 02093, Kiev.  
E-mail: C.Sidorenko@metro.keiv.ua

ELECTRIC ARC WELDING AND SURFACING  
IN REPAIR OF RAILS OF KIEV METRO

Operation of metro lines has own operation. The most critical element of track is rails, in which butts are particularly stressed place. Decrease of number of bolted butt joints significantly reduces the possibility of defect formation in rails. Experience of the E. O. Paton Electric Welding Institute on application in Kiev metro of a new method of rails joining, namely automatic consumable electrode electric arc bath welding, is presented. It provides high productivity of welding in comparison with aluothermal welding and required mechanical properties of the joints. Restoration of surface of rails and parts of crossing pieces is recommend to be performed using semi-automatic arc surfacing with self-shielded flux-cored wire. Ref. 4, Tabl. 1, Fig. 3.

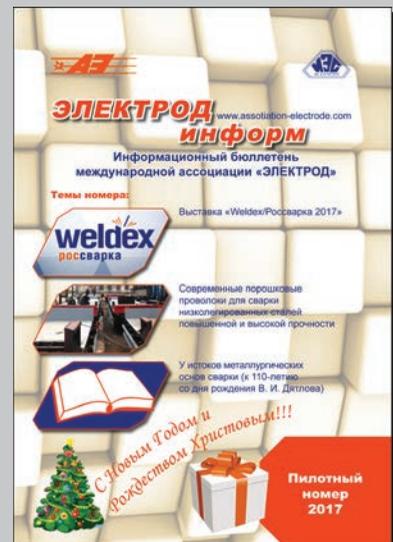
Поступила в редакцію 10.01.2018

### Вниманию читателей!

Вышел в свет пилотный выпуск информационного бюллетеня «Электрод информ» международной ассоциации «Электрод» ([www.association-electrode.com](http://www.association-electrode.com)). Это издание планируется сделать ежеквартальным.

В номере:

- ▶ Международный научно-практический семинар производителей сварочных материалов
- ▶ Выставка «Weldex/Россварка 2017»
- ▶ В международной ассоциации «Электрод»
- ▶ 40-летие Опытного завода сварочных материалов ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины
- ▶ Поздравляем (именинники октября, ноября, декабря)
- ▶ Фотогалерея участия в выставке «Россварка 2017»
- ▶ Поздравляем с 75-летним юбилеем З. А. Сидлина
- ▶ Шлепаков В. Н., Котельчук А. С., Гаврилюк Ю. А. Современные направления применения сварки порошковой проволокой низколегированных сталей повышенной и высокой прочности
- ▶ У истоков металлургических основ сварки (к 110-летию со дня рождения В. И. Дятлова)
- ▶ Знакомим с новыми членами ассоциации «Электрод» — АО «Белоречский металлургический комбинат»
- ▶ Календарь выставок и конференций (I квартал 2018 г.)



Информационная поддержка — журнал «Автоматическая сварка».