



СОЕДИНЕНИЕ МЕТАЛЛА БОЛЬШОЙ ТОЛЩИНЫ МНОГОПРОХОДНОЙ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКОЙ

К. А. ЮЩЕНКО¹, С. М. КОЗУЛИН¹, И. И. ЛЫЧКО¹, М. Г. КОЗУЛИН²

¹ ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

² Тольяттинский госуниверситет, РФ, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14. E-mail: office@tetsu.ru

Нестандартные схемы выполнения ЭШС (многослойная, колодезная и др.) чаще всего используют для восстановительного ремонта крупногабаритных деталей тяжелого машиностроения. Среди встречающихся видов разрушений наиболее частыми являются сквозные трещины, возникающие преимущественно в тяжело нагруженных деталях машин, эксплуатирующихся при знакопеременных нагрузках. Такие дефекты отличаются большой разветвленностью и извилистостью трещин, а также внушительными размерами сечений разрушений $(2,5 \dots 6,8) \cdot 10^5 \text{ мм}^2$. Способ многопроходной электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) является наиболее подходящим для проведения ремонтных работ. Научно-обоснованное сочетание разработанных технических и технологических приемов при реализации МЭШС ПМ обеспечивает металлу шва высокую пластичность, однородность его структуры и твердости, отсутствие в ЗТВ структур закалки и дефектов в зоне сплавления. Способ восстановления сквозных трещин больших размеров в крупных деталях непосредственно на месте эксплуатации успешно внедрен на шести предприятиях. Техническая схема, уровень проработки и универсальность технологического процесса осуществления МЭШС ПМ позволяют рекомендовать его также для соединения металла большой толщины при производстве новых сварных металлоконструкций. Библиогр. 16, рис. 4.

Ключевые слова: многопроходная электрошлаковая сварка, плавящийся мундштук, ремонт, крупногабаритные детали, сквозные трещины

Электрошлаковую сварку (ЭШС) за один проход осуществляют, чаще всего, тремя основными способами: проволочными электродами, плавящимся мундштуком и электродами большого сечения. Перечисленными способами можно выполнять практически все существующие типы стыковых, угловых и тавровых сварных соединений, получая при этом прямолинейные или кольцевые швы, а также швы сложного профиля [1]. Элементы сварных соединений классифицируются по поперечным сечениям и форме продольного сечения швов согласно ГОСТ 15164–95 и ДСТУ 3490–96. Поверхности свариваемых кромок, образующих сборочный зазор, получают механической обработкой, газопламенной или плазменной резкой, а также после прокатки. При производстве новых крупногабаритных металлоконструкций эффективность применения однопроходной ЭШС обеспечивается правильным выбором сварочного оборудования и комплексным решением вопросов техники и технологии выполнения швов.

Для измельчения структуры металла сварного соединения и снижения уровня остаточных напряжений необходимо применять последующую дорогостоящую высокотемпературную обработку (ВТО). Поэтому, любое решение по отказу или хотя бы уменьшению объемов ее применения, всегда является приоритетным [2].

Одним из путей приближения равнопрочности сварного соединения к основному металлу без проведения ВТО является выполнение ЭШС по схемам, отличающимся от традиционных, например, путем соединения металла большой толщины многослойными швами [3–5]. При соединении биметаллических заготовок эффективность применения ЭШС возрастает, если стык сваривают двумя швами последовательно [6].

Нестандартные схемы выполнения ЭШС чаще всего используют для восстановительного ремонта крупногабаритных деталей тяжелого машиностроения, в том числе, непосредственно на месте эксплуатации. В работе [7] обобщен накопленный научно – производственный опыт организации и проведения подобных работ и предложены технологические рекомендации, которые используются соответствующими техническими службами многих предприятий и организаций.

В горнодобывающей, металлургической, энергетической и других отраслях народного хозяйства имеется множество разнообразных крупногабаритных деталей агрегатов, разрушающихся в процессе эксплуатации. Это требует при организации ремонтных работ, в каждом конкретном случае, осуществлять индивидуальный подход. Он может быть обусловлен, прежде всего, геометрическими параметрами и пространственным положением места разрушения, а также техническим



Рис. 1. Схема характерного расположения трещин в разрушенном бандаже вращающейся печи

обеспечением рабочего места и условиями проведения ремонта.

Статья посвящена обобщению результатов исследований, разработки и внедрения эффективных приемов ремонта методами ЭШС сквозных трещин, возникающих преимущественно в тяжело нагруженных деталях машин. Характерным примером таких объектов могут служить опорные бандажи сплошного прямоугольного и фигурного сечения вращающихся обжиговых печей, которые нередко разрушаются в процессе эксплуатации из-за образования сквозных поперечных трещин [8]. Большинство бандажей, размеры поперечных сечений которых составляют $(355...500) \times (900...1350)$ мм, изготавливают из среднеуглеродистых сталей типа 35Л традиционным литьем в песчаные формы или электрошлаковым литьем (сталь 34Л-ЭШ). Особенность ремонта по исправлениям таких дефектов в значительной мере связана с большой разветвленностью и извилистостью трещин, а также внушительными размерами сечений разрушений (рис. 1), площадь которых может составлять $(2,5...6,8) \cdot 10^5$ мм². При этом, после разделки кромок под сварку неизбежно образуются широкие зазоры, которые превышают стандартные в 2...5 раз, а объем удаленного дефектного метал-

ла может составлять до $0,3...0,4$ м³. Грубая окисленная поверхность кромок (после удаления пораженного металла газокислородной резкой) создает дополнительные трудности обеспечения качественного сплавления при ЭШС.

Методы ремонта сквозных трещин в бандажах на месте их эксплуатации с применением электродуговых способов сварки отличаются крайне низкой производительностью и не всегда обеспечивают получение качественных сварных соединений, а также требуемых условий гигиены труда [8]. Использование традиционных способов ЭШС также малоэффективно из-за больших затрат времени и средств на доставку крупногабаритного сварочного оборудования, сложности монтажа и эксплуатации многоэлектродных аппаратов на большой высоте (более 20 м), невозможности получения гарантированного сплавления кромок основного металла со швом в начале сварки и др.

Применение некоторых нетрадиционных способов ЭШС [8–10] затруднительно, в основном, из-за невозможности полного удаления дефекта, имеющего разветвленный (пространственный) характер, обеспечения гарантированного сплавления свариваемых кромок и низкой стойкости швов против образования горячих трещин

Для решения вопросов организации оперативного ремонта оборудования со сквозными разрушениями на месте его эксплуатации потребовалась разработка способа ремонта, максимально свободного от указанных недостатков.

Способ многопроходной электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) (рис. 2) [11], наиболее полно отвечает этим требованиям.

Для создания принципиальной технологии МЭШС ПМ были изучены металлургические, энергетические и технические вопросы, связанные со спецификой выполнения восстановительных работ.

В результате были определены:

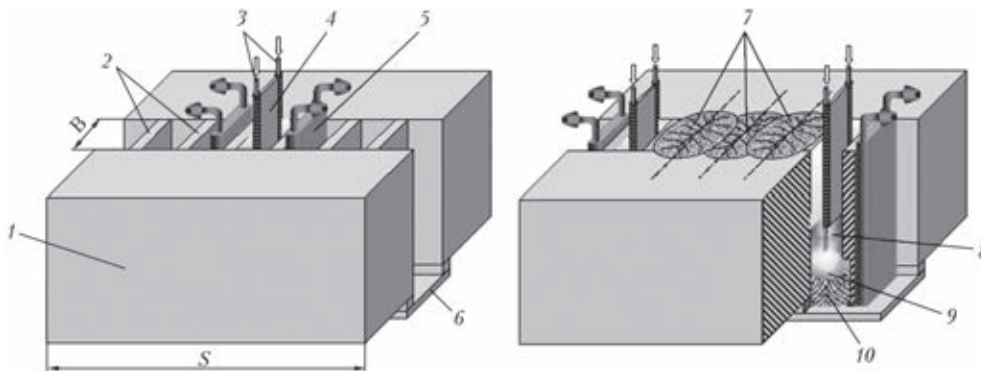


Рис. 2. Схема способа многопроходной ЭШС крупных изделий с большим поперечным сечением соединяемых элементов: 1 — свариваемая деталь; 2 — формирующие вставки; 3 — электродные проволоки; 4 — плавящийся мундштук; 5 — водоохлаждаемое устройство; 6 — входной карман; 7 — сварные швы; 8 — шлаковая ванна; 9 — металлическая ванна; 10 — наплавленный металл; S — толщина свариваемого металла; B — сварочный зазор



- закономерности бездефектного формирования сварного соединения в широком зазоре;
- условия гарантированного сплавления и качественного формирования шва;
- энергетические особенности процесса с позиций его устойчивости и бездефектности сварных соединений;
- условия предотвращения горячих трещин в швах;
- влияние термических циклов процесса на структуру и механические свойства металла сварного соединения.

Для реальных зазоров 60...150 мм, образовавшихся после удаления дефектного металла в районе залегания сквозных трещин, требуемые глубина провара основного металла и ширина расплавления формирующей вставки обеспечиваются при значениях удельной энергии сварочного процесса в диапазоне 220...340 кДж/см².

Технологическая прочность металла сварных соединений обеспечивается комплексом мероприятий, предотвращающих образование горячих трещин [12, 13, 15], а именно:

- уменьшением усадки металла шва за счет многосекционного исполнения неразъемного соединения отдельными швами;
- расположением плоскости шва в направлении, совпадающем с вектором растягивающих напряжений;
- снижением уровня растягивающих напряжений в период кристаллизации металлической ванны за счет податливости разделительных вставок сборки;
- выбором параметров режима сварки каждого прохода с обеспечением коэффициента формы шва в диапазоне 5...8;
- рассредоточением плотности поля напряжений путем симметричного выполнения заварки отдельных секций сборки.

Этому процессу свойственен такой тип термического цикла сварки, при котором скорости охлаждения металла зоны термического влияния (ЗТВ) весьма малы (0,2...0,8 °C/c), а время пребывания остывающего металла в диапазоне наименьшей устойчивости аустенита столь длительно, что условия для формирования структуры ЗТВ можно считать близкими к равновесным [14].

При МЭШС ПМ литых углеродистых сталей типа 35Л сочетание сварочных проволок общего назначения с повышенным содержанием марганца (например, Св-08Г2, Св-10Г2) и плавящихся флюсов на основе системы SiO₂-MnO-CaF₂ (АН-8М, АН-9У) обеспечиваются требуемые механические свойства при условии, что материал формирующих вставок сборки будет содержать не менее 1 %

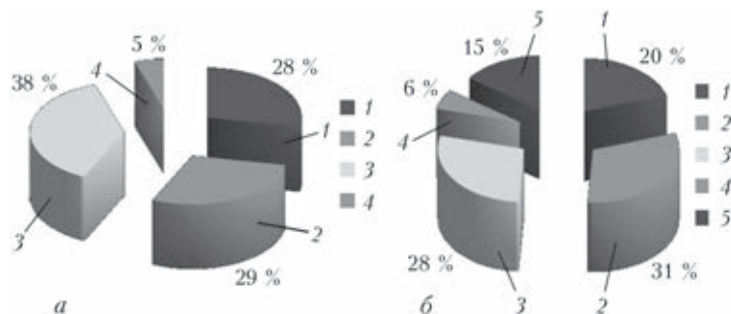


Рис. 3. Долевое участие металла вставок в составе металла шва при МЭШС ПМ первого (центрального) прохода (а) и смежных проходов (б): 1 — основной металл; 2 — электродные проволоки; 3 — металл вставки; 4 — пластина плавящегося мундштука, 5 — металл соседнего шва

марганца при низком содержании углерода и составлять 28...38 мас. % от наплавленного металла шва (рис. 3).

Достаточная прочность восстановленного металла сварных соединений тяжело нагруженных узлов конструкций из среднеуглеродистых литых сталей типа 35Л в условиях статических и ударных нагрузок, а также высокая длительная прочность при знакопеременном нагружении гарантируются [14] благодаря высокой пластичности металла шва, однородности его структуры и твердости, отсутствию в ЗТВ структур закалки и дефектов в зоне сплавления (рис. 4).

На сегодняшний день с использованием нового способа МЭШС ПМ разработаны технология ремонта деталей уникального оборудования без его демонтажа и специализированное сварочное оборудование [16]. Технология реализована при ремонте сквозных трещин в бандажах вращающихся печей на 6-ти предприятиях. Опыт много-

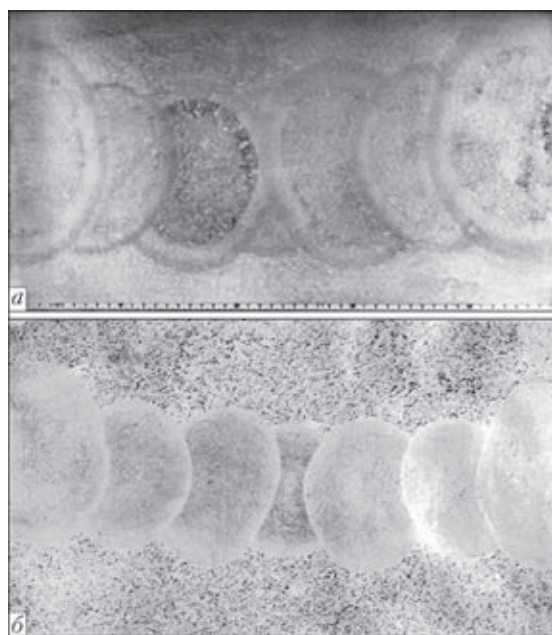


Рис. 4. Поперечный макрошлиф (а) и серный отпечаток (б) сварного соединения толщиной 480 мм, выполненного новым способом

летней эксплуатации восстановленных бандажей показал, что длительная прочность сварных соединений, полученных МЭШС ПМ в условиях знакопеременных нагрузок, составляет не менее 10^7 циклов. Применение разработанной технологии при ремонте сквозных трещин в бандажах вращающихся печей позволило сократить общее время восстановительных работ в 3 раза по сравнению с ремонтом при помощи двухдуговой автоматической сварки под флюсом.

Выводы

1. Многопроходная электрошлаковая сварка плавящимся мундштуком (МЭШС ПМ) — эффективный способ восстановления сквозных трещин больших размеров в крупных деталях, непосредственно на месте эксплуатации, о чем свидетельствуют результаты успешного внедрения его на шести предприятиях.

2. Научно-обоснованное сочетание разработанных технических и технологических приемов при реализации МЭШС ПМ обеспечивает металлу шва высокую пластичность, однородность его структуры и твердости, отсутствие в ЗТВ структуры закалки и дефектов в зоне сплавления.

3. Универсальность технологического процесса и техники осуществления МЭШС ПМ позволяет рекомендовать его также для соединения металла большой толщины при производстве новых сварных металлоконструкций.

1. *Электрошлаковая сварка и наплавка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Машиностроение, 1980. — 511 с.
2. *Патон Б. Е. Некоторые прогнозы развития сварки* // Автомат. сварка. — 1971. — № 5.

3. *Электрошлаковая сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. — М.: Киев, 1959. — 411 с.
4. *Pat. 22086 DDR. Verfahren zum VerweiBen von groBen Querschnitten mellels ElektroSchlacke-SchweiBung* / W. Anders, W. Maushake. — Veröff. 06.10.61.
5. *А. с. № 284224 СССР, МКИ В 23 К 25/00. Формирующее устройство для вертикальной сварки* / Г. И. Хоружик, И. И. Сушук-Слюсаренко, Г. Г. Андрианов и др. // Заявл. 22.01.1978 № 2571813, зарегистр. 21.03.1980.
6. *А. с. СССР № 747659. Формирующее устройство для вертикальной сварки* / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко, В. М. Хрундже и др., зарегистр. 23.01.1978.
7. *Электрошлаковая сварка и наплавка в ремонтных работах* / И. И. Сушук-Слюсаренко, И. И. Лычко, М. Г. Козулин, В. М. Семенов — Киев: Наук. думка, 1989. — 192 с.
8. *Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Методы восстановления бандажей вращающихся печей (Обзор)* // Автомат. сварка. — 2007. — № 10. — С. 40–47.
9. *Сушук-Слюсаренко И. И. Электрошлаковая сварка и наплавка*. — М.: Сварка. Т. 9 (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР), 1977. — 81 с.
10. *Фильченков Д. И., Козулин М. Г., Сушук-Слюсаренко И. И. Исправление дефектов отливок из стали 30ГСЛ многослойной электрошлаковой сваркой* // Свароч. пров. — 1982. — № 9. — С. 19–20.
11. *А. с. 1756074 СССР, МКИ В23К 25/00. 33/00. Способ многослойной электрошлаковой сварки* / М. Г. Козулин, С. М. Козулин // Открытия. Изобретения. — 1992. — № 31.
12. *Козулин С. М. Выбор формы разделки кромок при ремонте сквозных трещин многослойной электрошлаковой сваркой* // Автомат. сварка. — 2011. — № 3. — С. 41–45.
13. *Козулин С. М., Лычко И. И., Козулин М. Г. Повышение сопротивляемости сварных швов образованию кристаллизационных трещин при ремонте бандажей обжиговых печей электрошлаковой сваркой* // Там же. — 2010. — № 1. — С. 41–43.
14. *Козулин С. М., Лычко И. И., Подыма Г. С. Структура и свойства сварных соединений из стали типа 35Л, выполненных многослойной электрошлаковой сваркой* // Там же. — 2013. — № 8. — С. 8–13.
15. *Козулин С. М., Лычко И. И. Деформации сварных соединений при многослойной электрошлаковой сварке* // Там же. — 2011. — № 1. — С. 26–31.
16. *Портативный аппарат для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком* / К. А. Ющенко, И. И. Лычко, С. М. Козулин и др. // Там же. — 2012. — № 8. — С. 48–49.

Поступила в редакцию 14.07.2014



7.04 – 10.04 2015 г.

Место проведения: Беларусь, Минск,
проспект Победителей, 20/2
Организатор: ЗАО «МинскЭкспо»

Направления экспозиций

- ▶ Материалы для сварки, наплавки и пайки
- ▶ Оборудование и технологии сварки, резки, наплавки, пайки и термообработки
- ▶ Источники питания и системы управления сварочным оборудованием
- ▶ Оборудование для орбитальной сварки и обработки труб
- ▶ Электронно-лучевая, лазерная, плазменная сварка и резка
- ▶ Автоматизированные комплексные системы и агрегаты для сварки и резки
- ▶ Автоматизация сварочных производственных и технологических процессов, программное обеспечение
- ▶ Приборы для неразрушающего контроля сварных соединений
- ▶ Научное и информационное обеспечение сварки
- ▶ Система подготовки, переподготовки и аттестации сварщиков
- ▶ Охрана труда и экологическая безопасность в сварочном производстве
- ▶ Сертификация сварочного оборудования.

Выставка проводится одновременно с международными специализированными выставками «Металлообработка», «Порошковая металлургия» и международным специализированным салоном «Защита от коррозии. Покрытия».

Руководитель проекта: Федорова Елена Владимировна

тел.: +375 17 226 98 58, 226 90 83 факс: +375 17 226 98 58, 226 99 36; e-mail: e_fedorova@solo.by