

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

**К. А. ЮЩЕНКО, И. И. ЛЫЧКО, С. М. КОЗУЛИН, А. А. ФОМАКИН, И. С. НЕСЕНА**

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03150, г. Киев, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

Изложены результаты экспериментальных исследований и конструкторских разработок, явившихся основой для создания технологии и техники выполнения электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком элементов усиления строительных колонн высотного здания. Описан опыт применения разработанной технологии при строительстве высотного здания. Показаны преимущества использования новых аппаратов и специальной технологической оснастки при выполнении сварочных работ в монтажных условиях. Библиогр. 15, рис. 7.

*Ключевые слова:* строительные колонны, пояса, элементы усиления, электрошлаковая сварка, плавящийся мундштук, специальная технологическая оснастка, монтажные условия, производительность сварочных работ

Одной из специфических особенностей применения сварочных процессов в строительстве является строгое соответствие сроков выполнения сварочных работ срокам выполнения строительно-монтажных работ. Для обеспечения одновременности выполнения этих работ к сварочным технологиям предъявляются особые требования, а именно: высокая производительность процесса, мобильность, повышенная надежность сварочного оборудования и его нечувствительность к неблагоприятным (полевым) условиям эксплуатации, невысокая трудоемкость, минимальные затраты времени на сборочно-подготовительные операции.

В последние годы значительный рост объемов строительства высотных административных зданий вызвал потребность использования проектными институтами металлопроката повышенной толщины (60 мм и более) для изготовления цельносварных несущих колонн. В настоящее время пояса строительных колонн и элементы усиления их проемов соединяют ручной сваркой покрытыми электродами либо механизированной сваркой сплошной или порошковой проволокой, т. е. способами, которые для указанных толщин отличаются высокой трудоемкостью и низкой производительностью, что существенно увеличивает сроки строительно-монтажных работ.

На начальной стадии строительства цокольных этажных перекрытий при возведении высотного экспериментального здания «Общественный центр» (г. Киев) возникла необходимость существенно повысить производительность сварочных работ. Было предложено заменить электродугую сварку покрытыми электродами на электрошлаковую сварку как наиболее производительный способ соединения металлов неограниченной толщины [1], что и явилось целью настоящей работы.

Впервые электрошлаковая сварка (ЭШС) в строительстве была применена в СССР при сооружении кожухов доменных печей, монтаже металлоконструкций промышленных зданий, большегрузных конвертеров, технологических аппаратов для заводов по производству глинозема, массивных водоводов и т. д. [1].

Известен также опыт успешного применения ЭШС в США и Японии при изготовлении массивных строительных конструкций для административных зданий [2–6]. ЭШС применяли для соединения продольных стыков балок таврового и двутаврового сечения при изготовлении тяжелых строительных колонн [3], а также соединения угловых колонн с опорными плитами и диагональными связями [5]. При этом наибольшее применение для изготовления цельносварных колонн для стальных каркасов 52...59-этажных зданий получил способ ЭШС плавящимся мундштуком (ЭШСПМ) за счет возможности сваривать разнотолщинные элементы толщиной 44...73 мм [7]. В настоящее время в этих странах широко применяют ЭШСПМ для соединения внутренних диафрагм толщиной 40...150 мм с поясами строительных колонн прямоугольного профиля [8, 9] при их изготовлении в производственных условиях.

Согласно Рабочему проекту конструкция строительных колонн строящегося 54-этажного экспериментального здания «Общественный центр» в поперечном сечении напоминает форму мальтийского креста (рис. 1), к проемам, расположенным между торцами поясов 1, требовалось приварить элементы усиления 2 (толщина 90 мм, длина 800...1450 мм) с целью последующего возведения на их базе цокольных этажных перекрытий. Пояса колонн изготовлены из новой конструкционной

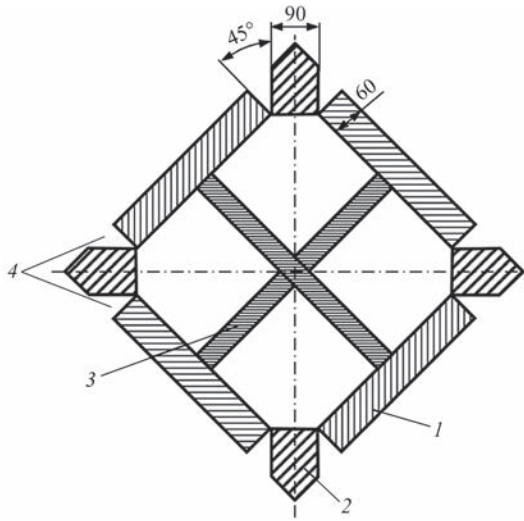


Рис. 1. Схема сборки стыков для сварки элементов усиления проемов поясов строительной колонны типа «мальтийский крест»: 1 — поперечное сечение пояса колонны; 2 — элемент усиления колонны; 3 — ребро жесткости; 4 — сварные стыки стали 06ГБ-390 (ТУ У 27.1-05416923-085-2006) толщиной 50 мм, а элементы усиления их проемов из стали 09Г2С-15 (ГОСТ 19281-89). Отличительной особенностью стали 06ГБ является ее хорошая свариваемость, высокая сопротивляемость замедленному разрушению и образованию холодных трещин по сравнению с известными марками низколегированных сталей данного класса прочности [10].

Согласно проектной документации в местах приварки элементов усиления к поясам строительных колонн была предусмотрена V-образная

разделка кромок, которая предназначена для выполнения многопроходной электродуговой сварки в вертикальном положении (порядка 300 проходов). Для применения ЭШСПМ за один проход потребовалось разработать специальную технологию и технику соединения элементов усиления с колонной.

В связи с нестандартной формой разделки кромок, неблагоприятными условиями труда в подземном пространстве (высокая влажность, абразивная и цементная пыль), а также сложностью формирования обратной стороны стыка, для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- разработать технологию и технику выполнения ЭШС, обеспечивающую гарантированное сплавление присадочного металла с основным, качественное формирование металла шва и отсутствие дефектов;

- разработать и изготовить портативные сварочные аппараты повышенной надежности, системы управления которых защищены от возможного проникновения влаги и пыли, что характерно для монтажных условий эксплуатации. Конструкция аппаратов должна обеспечить быструю их установку на изделия, а также демонтаж;

- разработать специальные приспособления для оперативного крепления сварочных аппаратов на строительных колоннах;

- разработать технологическую оснастку, обеспечивающую качественное формирование наружных и обратных сторон электрошлакового шва, а также приспособления для ее оперативного монтажа и демонтажа с изделия, особенно в труднодоступных участках.

Для решения поставленных задач были проведены конструкторские работы и экспериментальные исследования. Отработку параметров режима ЭШСПМ осуществляли на натуральных образцах, изготовленных из указанных выше сталей с использованием источника питания постоянного тока. В качестве сварочных материалов использовали электродную проволоку СВ-08Г2С и сварочный флюс АН-8У. С целью снижения тепловложения скорость сварки составляла 1,6...2 м/ч.

Для определения механических свойств и химического состава сварных соединений из заваренных образцов были вырезаны поперечные темплеты. Замеры макротвердости осуществляли контактно-резонансным твердомером ТКР-35. Поперечный макрошлиф сварных соединений, схема и результаты замеров твердости показаны на рис. 2, из которого видно, что распределение твердости исследуемых участков характерно для электрошлаковых швов аналогичных сталей, не подвергавшихся последующей термической

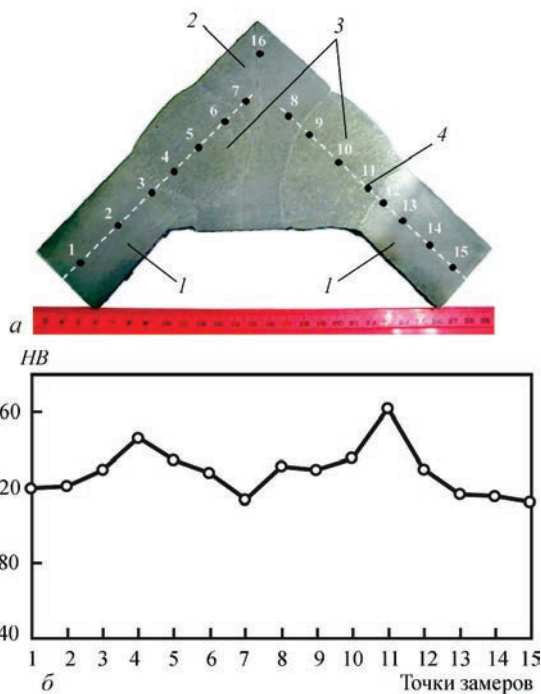


Рис. 2. Поперечный макрошлиф, схема (а) и результаты замеров твердости металла сварных соединений (б): 1 — пояса колонны; 2 — элемент усиления; 3 — электрошлаковые швы; 4 — точки замеров

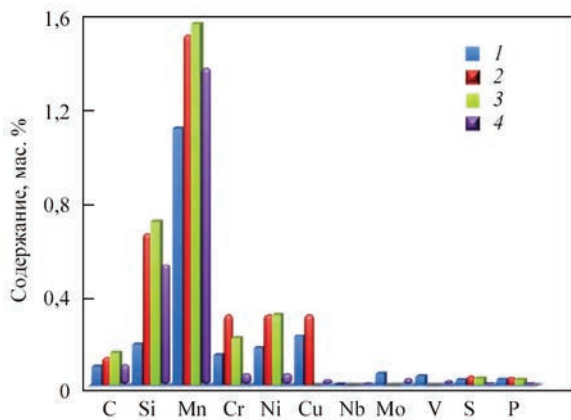


Рис. 3. Химический состав металла поясов, элементов усиления, электродной проволоки и сварного шва: 1 — сталь 06ГБ; 2 — сталь 09Г2С; 3 — Св-08Г2С; 4 — шов

обработке. При этом, учитывая последовательное выполнение соседних швов, а также близкое расположение завариваемых разделок, из рис. 2, б видно, что тепло, выделявшееся при выполнении второго шва, произвело частичную автотермообработку металла предыдущего шва и части зоны термического влияния (ЗТВ).

Визуальный контроль сварных образцов после ЭШСПМ V-образных стыков свидетельствует об удовлетворительном формировании поверхности швов. Швы плотные, без шлаковых включений, пор, несплавлений и трещин.

На рис. 3 представлены результаты определения химического состава металла пояса колонны, элемента усиления, сварочной проволоки и шва, из которых следует, что химический состав металла шва незначительно отличается от состава свариваемых сталей, а низкое содержание углерода и повышенное содержание марганца в металле шва обеспечивают высокий уровень технологической прочности сварного соединения.

Значения величины механической прочности металла сварного соединения определяли со стороны пояса колонны. Испытания образцов на растяжение показали, что значение временного сопротивления  $\sigma_v$  для металла по линии сплавления и в ЗТВ на расстоянии 5 мм от линии сплавления составляет  $\sigma_v = 466 \dots 480$  МПа, что свидетельствует о достаточном уровне прочности сварного соединения при ЭШС сталей 06ГБ и 09Г2С. Значения величины ударной вязкости после испытаний при температуре 20 °С в исходном после сварки состоянии для металла по линии сплавления и в ЗТВ на расстоянии 5 мм от линии сплавления составляют  $a_n = 108 \dots 155$  Дж/см<sup>2</sup>.

Анализ приведенных результатов ЭШСПМ стыков, ранее предназначавшихся под электродугую сварку, а также учитывая положительный опыт эксплуатации при положительных температурах окружающей среды сварных конструкций, не подвергавшихся последующей термической об-



Рис. 4. Крепление аппаратов А-1304 на строительной колонне: 1 — колонна; 2 — сварочные аппараты; 3 — быстросъемная рама

работке [11], свидетельствует о технической возможности и целесообразности ее использования для сварки элементов усиления проемов колонн типа «мальтийский крест».

Учитывая сжатые сроки строительства, на первом этапе для ЭШСПМ было предложено адаптировать серийные сварочные аппараты А-1304УХЛЧ для их использования в специфических условиях проведения строительных работ в подземных помещениях. Для крепления аппаратов на колоннах была разработана и изготовлена специальная быстросъемная рама (рис. 4), которая позволяет оперативно устанавливать и демонтировать аппараты после заварки стыков.

Надежное удержание шлаковой и металлической ванн в зазоре обеспечивают медными водоохлаждаемыми устройствами с наружной и обратной стороны сварного стыка [1]. Нестандартная форма и размеры разделки кромок, а также затрудненный доступ для обслуживания обратной стороны стыка (рис. 1), потребовали использовать формирующие устройства специальной конструкции. Для обеспечения качественного сплавления присадочного металла с основным и удовлетворительного формирования шва была разработана и изготовлена специальная технологическая оснастка: водоохлаждаемые формирующие устройства и приспособления для их быстрого крепления на свариваемом изделии [12, 13].

С целью снижения уровня остаточных сварочных напряжений сварку восьми стыков на каждой колонне выполняли с одновременным использованием двух сварочных аппаратов и с определенным порядком наложения швов на повышенных скоростях сварки (рис. 5).



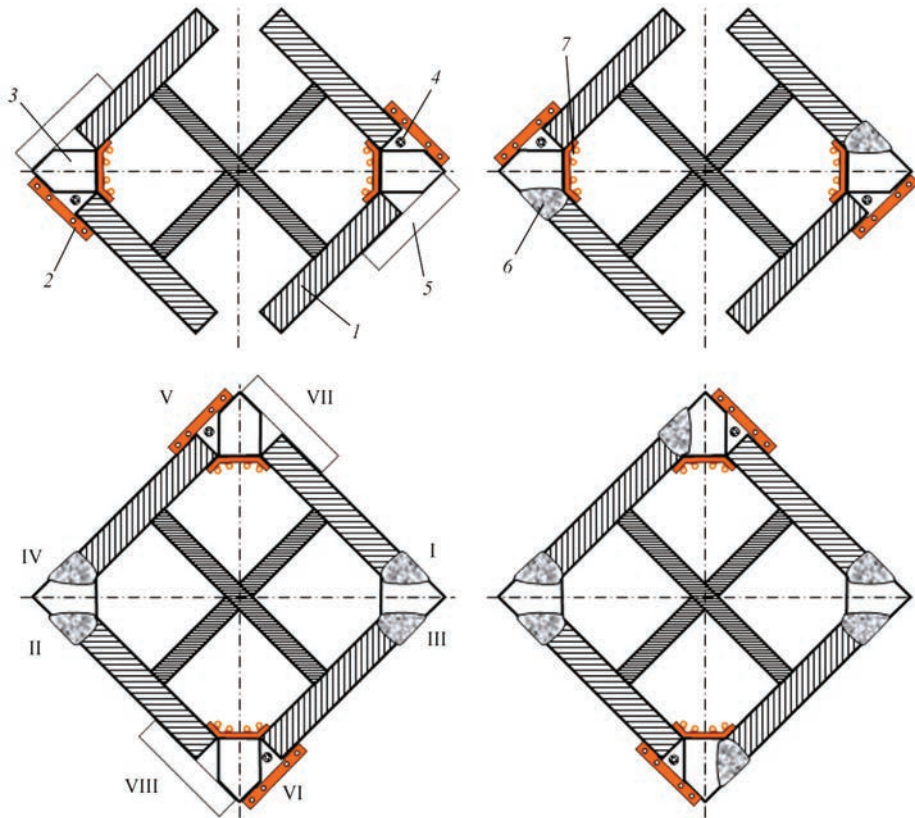


Рис. 5. Последовательность сборки и электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком усиления проемов строительных колонн: 1 — пояс колонны; 2 — водоохлаждаемая накладка; 3 — элемент усиления; 4 — плавящийся мундштук; 5 — технологическая планка; 6 — сварной шов; 7 — формирующая накладка обратной стороны стыка; I... VIII — порядок наложения швов

Учитывая запрет на применение газокислородной резки при строительстве указанного здания, а также с целью уменьшения времени сварки и

экономии сварочных материалов был реализован технологический прием, максимально уменьшающий величину прибыльных участков швов путем заварки усадочной раковины на погонной части сварного стыка (рис. 6).

После передачи разработанной технологии фирме «Укритарм» (г. Киев) и обучения ее работников технике выполнения ЭШСПМ, последние осуществили сварку элементов усиления проемов на восьми колоннах (64 стыка) при строительстве перекрытия первого цокольного этажа. Однако в процессе выполнения указанных работ возникли проблемы с работой аппаратов А-1304. Большая масса аппаратов значительно увеличивала трудоемкость и время сборочно-подготовительных операций. Периодически выходила из строя электрическая часть аппаратов в связи с высокой влажностью и запыленностью мест проведения сварочных работ. Для решения указанных проблем в ИЭС им. Е. О. Патона был разработан портативный аппарат АШП 113М2 для ЭШСПМ двумя электродными проволоками в монтажных условиях, лишенный указанных недостатков [14]. Были изготовлены два опытно-промышленных аппарата АШП 113М2 и переданы для выполнения сварочных работ на строящемся объекте. С использованием новых аппаратов было успешно заварено более 1500 стыков (более 1250 пог. м швов) при строительстве восьми цокольных эта-

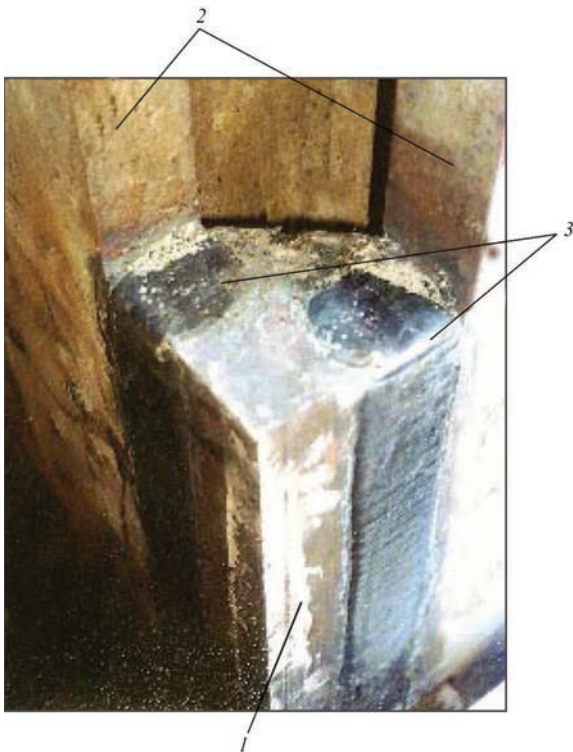


Рис. 6. Внешний вид электрошлаковых швов после заварки усадочной раковины на их погонной части: 1 — элемент усиления; 2 — пояса строительной колонны; 3 — сварные швы



Рис. 7. Фрагмент электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком усиленный проемов строительных колонн с использованием аппаратов АШП 113М2 (а) и внешний вид сварных швов (б)

жей (рис. 7) [15]\*. Ультразвуковой контроль сварных соединений не выявил каких-либо дефектов в виде трещин, пор, несплавов и др.

### Выводы

1. Разработана технология и техника выполнения ЭШСПМ элементов усиления проемов строительных колонн, обеспечивающая гарантированное сплавление присадочного металла с основным, качественное формирование металла шва и отсутствие каких-либо дефектов. Существенно уменьшена трудоемкость сборочно-подготовительных и сварочных работ, увеличена производительность процесса более, чем в 20 раз по сравнению с ручной сваркой покрытыми электродами, улучшена культура производства.

2. Использование новых портативных аппаратов АШП 113М2 обеспечило их безаварийную эксплуатацию в условиях повышенной влажности и присутствия цементной пыли на протяжении всего цикла строительных работ.

3. Применение разработанной специальной технологической оснастки обеспечило надежное

удержание шлаковой и металлической ванн в сварочном зазоре, в том числе в труднодоступных участках, и позволило существенно снизить трудоемкость сборочно-подготовительных операций.

4. Новую технологию и оборудование следует рекомендовать для сварки в монтажных условиях массивных строительных колонн, толстостенных резервуаров и других металлоконструкций, эксплуатирующихся при положительных температурах окружающей среды.

### Список литературы

1. Патон Б. Е. (ред.) (1980) *Электрошлаковая сварка и наплавка*. Москва, Машиностроение.
2. Agic T., Hampton Y. A. (1967) Electroslag welding with consumable guide on the Bank of America World Headquarters Building. *Weld. J.*, 47, 1, 936–946.
3. Baigent W. W. (1972) Inescapable in heavy columns: close work high deposition. *Weld. Design and Fabr.*, 45, 5, 39–42.
4. Hannahs J., Lea D. (1970) Where to consider electroslag welding. *Metal Prog.*, 98, 5, 62–64.
5. (1973) Massive building calls for massive welds. *Weld. Des. and Fabr.*, 46, 8, 47.
6. (1965) *Способ изготовления круглых колонн электрошлаковой сваркой*. Япония Пат. 24811.
7. (1962) Electroslag welding process attains production status. *Can. Mach. and Metalwork*, 73, 8, 128.
8. Janice J., Chambers, Brett R. Manning. (2016) Electroslag welding: From Shop to Field. *STRUCTURE magazine*, February 2016, 20–23.
9. Takahiko Suzuki, Takumi Ishii (2017) Guidebook for Preventing Brittle Fractures of Inner Diaphragm Electro-slag Welds. *Steel Construction Today & Tomorrow*, 3, 9–12.
10. Синеек А. Г., Демченко Ю. В., Проскудин В. Н. и др. (2015) Обоснование экономической эффективности применения различных способов сварки и сталей для ремонта кожуха доменной печи № 4 ПАО «МК «Азовсталь». *Сварщик*, 4, 18–21.
11. Труфяков В. И., Дворецкий В. И., Михеев П. П. и др. (1990) *Прочность сварных соединений при переменных нагрузках*. Труфяков В. И. (ред.). Киев, Наукова думка.
12. Козулин С. М., Подыма Г. С. (2016) Пристрій для формування зварних швів у важкодоступних ділянках товстостінних металлоконструкцій. *Матеріали V Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених»*, 5, сс. 127–131.
13. Козулин С. М., Подыма Г. С. (2018) Формирующие устройства для электрошлаковой сварки элементов усиления проемов строительных колонн. *Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених»*, 7, сс. 62–66.
14. Ющенко К. А., Лычко И. И., Козулин С. М. и др. (2012) Портативный аппарат для электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком. *Автоматическая сварка*, 8, 48–49.
15. ukritarm.com.ua/.

### References

1. Paton B.E. (Ed.) (1980) *Electroslag welding and surfacing*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
2. Magic, T., Hampton, Y.A. (1967) Electroslag welding with consumable guide on the Bank of America World Headquarters Building. *Weld. J.*, 47(1), 936–946.
3. Baigent, W.W. (1972) Inescapable in heavy columns: Close work high deposition. *Weld. Des. and Fabr.*, 45(5), 39–42.

\* В работе принимали участие Б. В. Цибуленко, В. Г. Ярмак, Г. С. Шульженко, В. А. Дакал, Е. С. Оганисян, В. А. Харченко.



4. Han k , J., Lea, D. (1970) Wh re to cæ id r electrolag weld g *Metal Prog.*,98( 5),8- 6.
5. (1978) Massiv b lid g calls fo massiv weld . *Weld. Des. and Fabr.*,46 (8),47.
6. (196) *Method of p oduction of round columns using electroslag welding*. Pat. 24811, Jap iŕ irR s siaŕ .
7. (198) Electrolag weld g p o ess p d tin stat . *Can. Mach. and M etalwork*,78 (8),128.
8. Jañ ce, J., Ch mb rs, Brett R. Mañ g (2016) Electrolag welding: From shop to field. *Ŕ RUCTURE Magazine*, Feb u r201620- 23
9. Tak h k Sñ k , Tak i Ish i (2017) Gi d b k fo p reñ n ig b ittle fractu es b in r id aŕ agñ electrolag weld . *Ŕ eel Construction Today & Tomorrow*, 3 ,9- 12.
10. Sia k A.G., Demch k YuW ., Prø ð n V.N. et al. (2015) Substantiation of economic efficiency for application of ð lfferen weld g metð ad steels fo rep ir b b ast-fura ce jack t No 4 PJSC MK Azø tal. *Ŕ arshchik*, 4, 18-21 [irR s siaŕ .
11. Trfi g k , V.I., Dø etsk , V.I., Miñ ev, P.P. et al. (1990) *Ŕ length of welded joints under alternating loads*. Ed b V.I. Trfi g k . Kiev, N aŕ Dm k [irR s siaŕ .
12. Kø li in S.M., Pð ma, G.S. (2016) Dø ce fo weld formation in difficult of access areas of thick-wall metal stru tn es. In *Proc. of 5th All-Ukrainian Ŕ i- Pract. Conf. of Ŕ udents, Postgraduate Ŕ udents and Junior Ŕ ientists on Ap ied Geometry, Design, Objects of Intellectual Prop rties and Innovation Activity of Ŕ udents and Junior Ŕ ientists*. Kyiv, *DIYa*, 5,127- 13 [ irU k aín aŕ .
13. Kø li in S.M., Pð a, G.S. (2018) Fø mig d iv ces fo electrolag weld g b reif o cemen elemen s b b lid g cb m n p ñ g . In *Proc. of 5th All-Ukr. Ŕ i- Pract. Conf. of Ŕ udents, Postgraduate Ŕ udents and Junior Ŕ ientists on Ap ied Geometry, Design, Objects of Intellectual Prop rties and Innovation Activity of Ŕ udents and Junior Ŕ ientists*. Kyiv, *DIYa*, 7,8- 6 irR s siaŕ .
14. Yu b h k K.A., Ly k I.I., Kø li in S.M. et al. (2012) Pø tab e ap ratu fo cæ m ab e-ñ zle electrolag weld g *The Paton Welding J.*, 8,45- 46
15. Uk itarm.cm .u /.

## ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОШЛАКОВОГО ЗВАРЮВАННЯ В БУДІВНИЦТВІ

**К. А. ЮЩЕНКО, І. І. ЛИЧКО, С. М. КОЗУЛІН, О. А. ФОМАКІН, І. С. НЕСЕНА**

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

Викладено результати експериментальних досліджень і конструкторських розробок, що з’явилися основою для створення технології і техніки виконання електрошлакового зварювання плавким мундштуком елементів посилення будівельних колон висотної будівлі. Описано досвід застосування розробленої технології при будівництві висотного будинку. Показано переваги використання нових апаратів і спеціального технологічного оснащення при виконанні зварювальних робіт в монтажних умовах. Бібліогр. 15, рис. 7.

*Ключові слова:* будівельні колони, пояси, елементи підсилення, електрошлакове зварювання, плавкий мундштук, спеціальне технологічне оснащення, монтажні умови, продуктивність зварювальних робіт

## APPLICATION OF ELECTROSLAG WELDING IN CONSTRUCTION

**K. A. YUSHCHENKO, I. I. LYCHKO, S. M. KOZULIN, A. A. FOMAKIN, I. S. NESENA**

E.O. Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine.

11 Kazimir Malevich Str., 03150, Kyiv, Ukraine. E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper provides the results of investigation and engineering developments being a basis for working out a technology and technique of performance of electroslag welding with consumable nozzle of the strengthening elements of construction columns of high-rise building. An experience of application of new apparatuses and special technological fixture in performance of welding ratios and assembly conditions was demonstrated. 15 Ref., 7 Fig.

*Keywords:* construction columns, belts, strengthening elements, electroslag welding, consumable nozzle, special technological fixture, assembly conditions, efficiency of welding operations

Поступила в редакцию 27.07.2018

## Опытный завод сварочного оборудования им. Е.О. Патона в YOUTUBE



<https://www.youtube.com/watch?v=r6ajFtuDO5A&t=5s>  
<https://www.youtube.com/watch?v=JlMmEFYIWw&t=7s>  
<https://www.youtube.com/watch?v=xtPOar11F4&t=137s>  
[https://www.youtube.com/watch?v=RZV9OE\\_njly&t=3s](https://www.youtube.com/watch?v=RZV9OE_njly&t=3s)  
[https://www.youtube.com/watch?v=-g\\_gnesGWQ&t=66](https://www.youtube.com/watch?v=-g_gnesGWQ&t=66)