ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ. МЕХАНИЗМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 691-46+67.05

DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.545-551

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ФЛАНГОВЫМИ ШВАМИ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕМ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПО ИХ ДЛИНЕ И ПОПЕРЕЧНОМУ СЕЧЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗИРОВАННЫХ И РОБОТИЗИРОВАННЫХ СВАРОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Е.И. Павлов, В.А. Белов*, С.В. Щербина*

Технологический центр ТЕНА, 107553, г. Москва, Окружной проезд, д. 5, стр. 1;

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет
(НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26*

АННОТАЦИЯ. Приведены экспериментальные исследования несущей способности образцов двух серий, выполненных полуавтоматической сваркой в CO_2 на оси и сварочным робототехническим комплексом в смеси $\text{CO}_2 + \text{Ar}$. Выполнялись швы постоянного сечения, швы с увеличенным катетом на концевых участках и швы в виде двух шпонок на концевых участках. На экспериментальных образцах первой серии установлена эффективность использования швов с увеличенным катетом на концевых участках и швов с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода. По результатам испытаний образцов второй серии установлено превышение несущей способности образцов, выполненных с увеличенным катетом на концевых участках, в сравнении с образцами с катетом постоянного сечения. Образцы второй серии, выполненные в виде двух шпонок, на концевых участках показали превышение относительной несущей способности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сварка, наплавленный металл, сварные соединения, фланговые швы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Павлов Е.И., Белов В.А., Щербина С.В. Совершенствование сварных соединений с фланговыми швами перераспределением наплавленного металла по их длине и поперечному сечению с использованием механизированных и роботизированных сварочных комплексов // Вестник МГСУ. Т. 12. Вып. 5 (104). С. 545–551. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.545-551

IMPROVEMENT OF WELDED CONNECTIONS WITH SIDE LAP WELDS BY REDISTRIBUTION OF ALL-WELD METAL ALONG LENGTHS AND CROSS-SECTIONS THEREOF USING MECHANIZED AND ROBOTIC WELDING SYSTEMS

E.I. Pavlov, V.A. Belov*, S.V. Shcherbina*

ООО Technology Center TENA, 5, bldg 1, Otkrugnoi proezd, Moscow, 107553, Russian Federation;

**Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU),
26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation*

ABSTRACT. Experimental study of bearing capacity of samples of two series performed by semiautomatic welding in CO_2 on the axis, and by robotic welding machine in mixture ($\text{CO}_2 + \text{Ar}$), is presented. Welds of constant cross section, welds with extended leg on end sections, and welds in the form of two dowels on end sections were performed. Efficiency of pilot samples of the first series (with extended leg on end sections by way of a smooth transition) defined by the ratio of weld metal volume to a crushing load reaches 28 % relative to samples with a leg constant as per length. Samples of the first series with an extended leg on end sections also showed efficiency increased to 17 %. According to the second series samples test results, the exceeding of bearing capacity of the samples performed with an extended leg on end sections by 24 % in comparison with the samples with a leg of constant cross section was determined. Samples of the second series performed in the form of two dowels on end sections demonstrated the exceeding of the relative bearing capacity by 42 % in comparison with the samples with a continuous leg of constant cross-section.

KEY WORDS: welding, weld metal, welding connections, side lap welds

FOR CITATION: Pavlov E.I., Belov V.A., Shcherbina S.V. Sovershenstvovanie svarnykh soedineniy s flangovymi shvami pereraspredeleniem naplavlennogo metalla po ikh dline i poperechnomu secheniyu s ispol'zovaniem mekhanizirovannykh i robotizirovannykh svarochnykh kompleksov [Improvement of Welded Connections with Side Lap Welds by Redistribution of All-Weld Metal Along Lengths and Cross-Sections Thereof Using Mechanized and Robotic Welding Systems]. Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2017, vol. 12, issue 5 (104), pp. 545–551. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.5.545-551

Преобладание сварных соединений с угловыми швами, главным образом фланговыми, на долю которых приходится не менее 2/3 от общего объема, является характерной особенностью строительных металлоконструкций.

На основе проведенных ранее исследований, предшествующих последнему изданию СНиП II-23-81¹, на образцах нахлесточных и тавровых соединений с длинами фланговых швов от 24 до 120 см [1] при использовании ручной и полуавтоматической сварки установлено, что протяженность сильно нагруженных концевых участков составляет не более 1/4 длины шва и протяженность среднего слабо нагруженного участка — более половины длины шва. По результатам этих исследований установлено, что разрушение фланговых швов происходит от концов участков к середине. Это обстоятельство позволило модернизировать самые протяженные швы крепления поясов ферм к фасонкам, выполняя их в виде двух шпонок с минимально допустимой длиной 40 мм в концевых участках фасонки. Испытание проводилось на натурной конструкции типовой фермы пролетом 24 м на действие расчетной и превышающей ее до двух раз нагрузки. При нагрузке в 1,3 раз больше расчетной потерял устойчивость опорный раскос. После его усиления при нагрузке в 1,6 раз больше расчетной потерял устойчивость верхний пояс фермы. При последующем усилении до двух расчетных нагрузок разрушение швов крепления поясов не обнаружено [2]. Эти исследования были посвящены оценке технологической прочности [3, 4], анализу глубины проплавления, несущей способности сварных соединений с фланговыми швами и уменьшения массы наплавленного металла [5–7].

Для развития этого направления исследований авторами разработана модернизация сварных соединений с фланговыми швами на основе конечно-элементного моделирования путем перераспределения и уменьшения наплавленного металла по длине и поперечному сечению [8–10]. Реализация этой модернизации требует высокой квалификации сварщика даже при использовании механизированной сварки, имеющей нормативную поддержку в строительстве. Для исключения влияния квалификации сварщика на результаты модернизации в работе использованы две сварочные технологии, позволяющие выполнить эталонные и модернизированные образцы при одинаковых режимах сварки и при фиксированных углах наклона подачи сварочной проволоки [11].

Сварка образцов выполнялась в технологическом центре ТЕНА. Образцы первой серии (рис. 1, 2) выполнялись полуавтоматической сваркой в CO_2 на оси сварочным источником Fronius TPS 5000 CMT с механизмом подачи проволоки VR 7000 CMT с

применением трактора Fronius FlexTrack 45 и прямыми рельсами на магнитных кронштейнах. Плотность тока — 300 А, напряжение — 28 В.

Образцы второй серии выполнял сварочный робототехнический комплекс в смеси $\text{CO}_2 + \text{Ar}$ в составе сварочной системы Fronius TPS 5000 CMT и робота-манипулятора KUKA KR-5 с контроллером KRC2, с использованием импульсной дуги Pulse (рис. 3, 4). Плотность тока — 370 А, напряжение — 32 В.

Все образцы выполнены из стали 09Г2С, использовалась сварочная проволока Св08Г2С.

Сваркой полуавтоматом на тракторе (первая серия) выполнялись швы длиной 120 мм (см. рис. 2):

- с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода (образец 1, 2);
- постоянного сечения (образец 3, 4);
- с увеличенным катетом на концевых участках (образец 5, 6).

Сваркой роботизированным сварочным комплексом (вторая серия) выполнялись швы длиной 240 мм (рис. 5):

- постоянного по длине сечения (образец 7, 8);
- с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода (образец 9);
- в виде двух шпонок на концевых участках (образец 10).

Рис. 1. Размеры образцов, выполненных полуавтоматом на тракторе

В экспертно-диагностическом и испытательном центре строительных конструкций МГСУ выполнено экспериментальное исследование несущей способности сварных швов первой и второй серий (рис. 6). По результатам эксперимента определялся характер разрушения и несущая способность сварных соединений.

На экспериментальных образцах первой серии (с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода) эффективность, определяемая отношением объема наплавленного металла к разрушающей нагрузке, достигает 28 % по отношению к образцам с постоянным по длине катетом.

¹ СНиП II-23-81. Стальные конструкции.

Рис. 2. Натурные образцы, выполненные полуавтоматом в среде CO₂ с использованием приспособления (трактора) на оси (первая серия): образцы 1, 2 — шов с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода; образцы 3, 4 — шов постоянного сечения; образцы 5, 6 — шов с увеличенным катетом на концевых участках

Рис. 3. Размеры образцов, выполненных роботизированным сварочным комплексом

Рис. 4. Сварочный роботизированный комплекс

Рис. 5. Натурные образцы, выполненные роботизированным сварочным комплексом (вторая серия): образцы 7, 8 — шов с увеличенным катетом на концевых участках путем плавного перехода; образец 9 — шов постоянного сечения; образец 10 — шов с увеличенным катетом на концевых участках

Образцы первой серии с увеличенным катетом на концевых участках также показали увеличенную до 17 % эффективность работы.

По результатам испытаний образцов второй серии установлено превышение несущей способности образцов, выполненных с увеличенным катетом на концевых участках, на 24 % в сравнении с образцами с катетом постоянного сечения.

Образцы второй серии, выполненные в виде двух шпонок в концевых участках, показали превышение относительной несущей способности на 42 % по сравнению с образцами со сплошным катетом постоянного сечения.

Рис. 6. Образец в разрывной машине

Табл. 1. Результаты испытаний образцов первой серии

Номер образца	Длина шва, мм	Разрушающая нагрузка, тс	Относительная нагрузка	Объем наплавленного металла, см ³	Относительный объем наплавленного металла	Эффективность, %
1	120	27,8	0,93	4,86	0,81	15
2	120	27,5	0,92	4,31	0,72	28
3	120	29,2	0,98	5,46	0,91	8
4	120	29,8	1,00	5,97	1,00	0
5	120	27,4	0,92	4,9	0,82	12
6	120	28,9	0,97	4,95	0,83	17

Табл. 2. Результаты испытаний образцов второй серии

Номер образца	Длина шва, мм	Разрушающая нагрузка, тс	Относительная нагрузка	Эффективность, %
7	240	57,2	1,05	5
8	240	54,7	1,00	0
9	240	68,0	1,24	24
10	120 (60 + 60)	38,6	1,42	42

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.А. Несущая способность сварных соединений с фланговыми швами в строительных металлических конструкциях. М. : МГСУ, 2012. 136 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ)
2. Барышев В.М., Белов В.А., Игнатъева В.С. и др. Уменьшение размеров сварных швов // Промышленное строительство. 1982. № 5. С. 17.
3. Барышев В.М., Белов В.А. Повышение технологичности сварных конструкций за счет уменьшения массы наплавленного металла // Проектирование и технологичность сварных и паяных конструкций : сб. докл. МДНТП. М., 1976. С. 3–8.
4. Казимиров А.А., Островская С.А., Барышев В.М. и др. Об уменьшении размеров слабонагруженных швов // Автоматическая сварка. 1977. № 8. С. 39–44.
5. Барышев В.М., Белов В.А., Игнатъева В.С. и др. Возможность повышения технологичности конструктивной формы путем снижения массы наплавленного металла // Основные направления развития стальных конструк-

- ций и современные методы их изготовления : сб. докл. симпозиума АИПК. М., 1978. Т. 4. С. 66–71.
6. Барышев В.М., Игнатъева В.С., Сухов А.Г. и др. Уменьшение массы наплавленного металла при изготовлении сварных металлоконструкций // Внедрение комплексной механизации и автоматизации в производстве сварных строительных металлоконструкций : тезисы докл. IV Всесоюз. конф. (г. Киев, ноябрь 1976 г.). М. : Стройиздат, 1976. С. 10–11.
7. Казимиров А.А., Островская С.А., Барышев В.М. и др. Оптимизация размеров угловых швов в сварных конструкциях из сталей с пределом текучести не более 45 кгс/мм² // Автоматическая сварка. 1979. № 7. С. 44–46.
8. Белов В. А. Разработка ресурсосберегающих технических решений и нормативов для модернизации сварных металлоконструкций строительного комплекса // Наука, инновации, подготовка кадров в строительстве : тез. докл. конф.-выставки 3–4 декабря 2003 г. М. : МГСУ-ФГУП Спецстрой, 2003. С. 46–49.

9. Белов В.А., Круль К. Моделирование и расчет металлических конструкций зданий и сооружений. М.: МГСУ, 2012. 160 с. (Библиотека научных разработок и проектов МГСУ)

10. Белов В.А., Гусев А.А., Щербина С.В. Совершенствование металлических конструкций модернизацией

сварных соединений с фланговыми швами // Механизация строительства. 2014. № 3. С. 32–35.

11. Бычковский С.Л., Топоров И.Б., Кудряшов Н.О. и др. Современные технологии дуговой наплавки изделий трубопроводной арматуры, горно-шахтного оборудования, двигательных установок // Сварочное производство. 2014. № 5. С. 40–42.

Поступила в редакцию в декабре 2016 г.

Принята в доработанном виде в марте 2017 г.

Одобрена для публикации в апреле 2017 г.

Об авторах: Павлов Евгений Игоревич — инженер-технолог, отдел сервиса и технической поддержки, ООО «Технологический центр ТЕНА», 107553, г. Москва, Окружной проезд, д. 5, стр. 1, pavlov_tsn@fronius.ru;

Белов Виктор Александрович — кандидат технических наук, доцент кафедры механизации строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Belov@mgsu.ru;

Щербина Сергей Викторович — аспирант кафедры механизации строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, scherbine@mail.ru.

REFERENCES

1. Belov V.A. *Nesushchaya sposobnost' svarnykh soedineniy s flangovymi shvami v stroitel'nykh metallicheskiykh konstruktsiyakh* [Bearing Capacity of Welded Seams with Side Fillet Welds in Construction Ironwork]. Moscow, MGSU Publ., 2012, 136 p. (Biblioteka nauchnykh razrabotok i projektov MGSU [Library of Scientific Developments and Projects of MGSU]) (In Russian)

2. Baryshev V.M., Belov V.A., Ignat'eva V.S. et al. *Umen'shenie razmerov svarnykh shvov* [Size Reduction of the Welded Seams]. *Promyshlennoye stroitel'stvo* [Industrial Construction]. 1982, no. 5, pp. 17. (In Russian)

3. Baryshev V.M., Belov V.A. *Povyshenie tekhnologichnosti svarnykh konstruktsiy za schet umen'sheniya massy naplavlennogo metalla* [Improving the Use of Technology of Weldments at the Expense of Reduction of the Welded Metal Mass]. *Proyektirovaniye i tekhnologichnost' svarnykh i payanykh konstruktsiy: sbornik dokladov MDNTP* [Design and Fabricability of Weldments and Brazed Structures: book of reports of the Moscow House of Science and Technology Promotion]. Moscow, 1976, pp. 3–8. (In Russian)

4. Kazimirov A.A., Ostrovskaya S.A., Baryshev V.M. et al. *Ob umen'shenii razmerov slabonagruzhennykh shvov* [On the Size Reduction of Lightly Loaded Seams]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding]. 1977, no. 8, pp. 39–44. (In Russian)

5. Baryshev V.M., Belov V.A., Ignat'eva V.S. et al. *Vozmozhnost' povysheniya tekhnologichnosti konstruktivnoy formy putem snizheniya massy naplavlennogo metalla* [Possibility of Improving the Fabricability of the Design Shape by Reducing the Weight of the Weld Metal]. *Osnovnyye napravleniya razvitiya stal'nykh konstruktsiy i sovremennyye metody ikh izgotovleniya: sbornik dokladov simpoziuma AIPK* [Main Trends in the Development of Steel Structures and Modern Methods of Their Fabrication: book of reports of the AIPK]. Moscow, 1978, vol. 4, pp. 66–71. (In Russian)

6. Baryshev V.M., Ignat'eva V.S., Sukhov A.G. et al. *Umen'sheniye massy naplavlennogo metalla pri izgotovlenii svarnykh metallokonstruktsiy* [Mass Reduction of Weld-

ed Metal in the Fabrication of Welded Metal Structures]. *Vnedreniye kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii v proizvodstve svarnykh stroitel'nykh metallokonstruktsiy: tezisy dokladov IV Vsesoyuznoy konferentsii* (Kiev, noyabr' 1976 g.) [Implementation of Integrated Mechanization and Automation in the Production of Welded Construction Ironwork: abstracts. Fourth All-Union Conference (Kiev, November 1976)]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1976, pp. 10–11. (In Russian)

7. Kazimirov A.A., Ostrovskaya S.A., Baryshev V.M. et al. *Optimizatsiya razmerov uglovykh shvov v svarnykh konstruktsiyakh iz staley s predelom tekuchesti ne boleye 45 kgs/mm²* [Dimensions Optimization of Fillet Welds and Weldments of Steels with Yield Limit not More Than 45 kgf/mm²]. *Avtomaticheskaya svarka* [Automatic Welding]. 1979, no. 7, pp. 44–46. (In Russian)

8. Belov V.A. *Razrabotka resursosberegayushchikh tekhnicheskikh resheniy i normativov dlya modernizatsii svarnykh metallokonstruktsiy stroitel'nogo kompleksa* [Development of Resource-Saving Technical Solutions and Norms for the Modernization of Weldments in the Building Sector]. *Nauka, innovatsii, podgotovka kadrov v stroitel'stve: tezisy dokladov konferentsii-vystavki 3-4 dekabrya 2003 goda* [Science, Innovations, Training of Personnel in Construction: abstracts of the conference, December 3-4, 2003]. Moscow, MGSU-FGUP Spetsstroy Publ., 2003, pp. 46–49. (In Russian)

9. Belov V.A., Krul' K. *Modelirovaniye i raschet metallicheskiykh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy* [Modeling and Calculation of Metal Structures of Buildings and Structures]. Moscow, MGSU Publ., 2012, 160 p. (Biblioteka nauchnykh razrabotok i projektov MGSU [Library of Scientific Developments and Projects of MGSU]) (In Russian)

10. Belov V.A., Gusev A.A., Shcherbina S.V. *Sovershenstvovanie metallicheskiykh konstruktsiy modernizatsiey svarnykh soedineniy s flangovymi shvami* [Perfection of Welded Seams with Side Fillet Welds in Construction Ironwork]. *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization in Construction]. 2014, no. 3, pp. 32–35. (In Russian)

11. Bychkovskiy S.L., Toporov I.B., Kudryashov N.O. et al. Sovremennye tekhnologii dugovoy naplavki izdeliy truboprovodnoy armatury, gorno-shakhtnogo oborudovaniya, dvigatel'nykh ustanovok [Modern Technologies of Arc Sur-

facing of Pipeline Armature, Mining Equipment, Propulsion Plants]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding Industry]. 2014, no. 5, pp. 40–42. (In Russian)

Received in December 2016.

Adopted in revised form in March 2017.

Approved for publication in April 2017.

About the authors: **Pavlov Evgeniy Igorevich** — Engineer-Technologist, Service and Technical Support Department, **OOO Technology Center TENA**, 5, bldg 1, Okrugnoi proezd, Moscow, 107553, Russian Federation, pavlov_tsn@fronius.ru;

Belov Viktor Aleksandrovich — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Construction Mechanization, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Belov@mgsu.ru;

Scherbina Sergey Viktorovich — Postgraduate, Department of Construction Mechanization, **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**, 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; scherbina@mgsu.ru.