

# АВТОМАТИЧЕСКАЯ СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ МОСТОВ ИЗ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ СТАЛЕЙ 10ХСНДА И 15ХСНДА В МОНТАЖНЫХ УСЛОВИЯХ

Д. П. ЧЕПРАСОВ<sup>1</sup>, Ю. А. КУЗНЕЦОВ<sup>2</sup>, Е. А. ЛЕДНИКОВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АлтГТУ им. И. И. Ползунова. 656038, Россия, г. Барнаул, просп. Ленина, 46. E-mail: ar\_gac@mail.ru

<sup>2</sup>АФ ОАО «Сибмост», Мостоотряд-96. 656011, Россия, г. Барнаул, просп. Ленина, 119а

<sup>3</sup>ООО «ГАЦ АР НАКС». 656000, Россия, г. Барнаул, Красноармейский просп. 71

Представлены результаты оптимизации технологии автоматической сварки под флюсом, выполняемой на монтаже при сооружении мостовых переходов из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА (ТУ 14-1-5120-2008) в условиях Западно-Сибирского региона. С учетом местных климатических и температурных условий, назначения металлоконструкций, принципа легирования сталей и толщины свариваемых листов установлено, что сварку необходимо выполнять на режимах, обеспечивающих погонную энергию в пределах 30...35 тыс. Дж/см в два прохода, на стеклянной подложке с уменьшенной на 20...30 % высотой засыпки металлохимической присадки. Обеспечение требуемых вязкости и прочности сварных соединений по этой технологии объясняется благоприятными условиями для фазовых превращений и образования однородной структуры в металле шва и ЗТВ. Библиогр. 9, табл. 4, рис. 3.

*Ключевые слова:* мостовые конструкции, автоматическая сварка под флюсом, погонная энергия, зона сплавления, охрупчивание

В качестве основного материала для изготовления мостовых конструкций Северного исполнения согласно [1] применяют стали марки 10ХСНД, 15ХСНД (ГОСТ 6713-91) и стали марок 10ХСНДА и 15ХСНДА (ТУ 14-1-5120-2008). Основным отличием сталей, выпускаемых по ТУ от стандартных, является наличие в их составе сильных карбидообразующих элементов и несколько пониженное содержание углерода, марганца, хрома, никеля и вредных примесей (табл. 1, 2).

Первый опыт применения этих марок сталей, выпускаемых еще по ТУ 14-1-5120-91, показал [2, 3], что стыковые сварные соединения толщиной 12...16 мм, полученные односторонней одно- и двухпроходной сваркой под флюсом с применением металлохимической присадки (МХП) и медных формирующих подкладок, склонны к низкотемпературному охрупчиванию, особенно по зоне сплавления.

В новых ТУ [4] химический состав скорректирован в сторону уменьшения углеродного эквивалента. Однако устранить повышенную чувствительность монтажных сварных соединений

к низкотемпературному охрупчиванию, при однопроходной автоматической сварке под флюсом не удалось [5]. Поэтому настоящая работа посвящена оптимизации технологии автоматической сварки под флюсом необходимой для сооружения мостовых переходов из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА (ТУ 14-1-5210-2008) в температурных условиях региона.

**Материалы и методика выполнения исследований.** Согласно требованию проектно-технической документации для строительства мостов Северного исполнения в работе применялся листовой прокат категорий 2 и 3 в нормализованном или в термически улучшенном состоянии после закалки и высокого отпуска с величиной углеродного эквивалента не более 0,45 %, определяемого по формуле [4].

В условиях Мостоотряда-96 в разные времена года сваривали длинномерные продольные и поперечные стыки настила ортотропных и консольных плит толщиной 12 мм без разделки кромок с применением МХП на медных и стеклянных подкладках. Для сварки использовали флюс АН-47

**Таблица 1.** Химический состав, мас. %

| Марка стали | C           | Si        | Mn          | Cr        | Ni        | Cu        | Nb          |
|-------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 10ХСНД      | < 0,12      | 0,8...1,1 | 0,5...0,8   | 0,6...0,9 | 0,5...0,8 | 0,4...0,6 | –           |
| 15ХСНД      | 0,12...0,18 | 0,4...0,7 | 0,4...0,7   | 0,6...0,9 | 0,3...0,6 | 0,2...0,4 | –           |
| 10ХСНДА     | < 0,12      | 0,8...1,1 | 0,65...0,95 | 0,3...0,6 | 0,2...0,5 | 0,4...0,6 | 0,03...0,06 |
| 15ХСНДА     | 0,1...0,15  | 0,4...0,7 | 0,6...0,9   | 0,3...0,6 | 0,2...0,5 | 0,2...0,4 | 0,03...0,06 |

*Примечание.* В сталях 10ХСНД и 15ХСНД серы и фосфора не более 0,035 мас. %. В сталях 10ХСНДА и 15ХСНДА – серы не более 0,010 мас. %, фосфора – 0,015 мас. %. Допускается замена ниобия ванадием в количестве 0,08...0,12 мас. %.

Таблица 2. Механические свойства сталей

| Марка стали | Временное сопротивление $\sigma_B$ , МПа | Предел текучести $\sigma_T$ , МПа | Относительное удлинение $\delta_s$ , % | Ударная вязкость $KCU$ , Дж/см <sup>2</sup> для проката категорий при температуре, °С |     |     |
|-------------|--|-----------------------------------|--|---|-----|-----|
|             |  |                                   |  | 1   | 2   | 3   |
|             |  |                                   |  | -40   | -60 | -70 |
| 10ХСНД      | 530...670                                | 390                               | 19                                     | 29  | 29  | 29  |
| 15ХСНД      | 490...670                                | 335...345                         | 19...21                                | 29  | 29  | 29  |
| 10ХСНДА     | 510...670                                | 390...495                         | 19                                     | 29  | 29  | 29  |
| 15ХСНДА     | 470...685                                | 335...450                         | 19...21                                | 29  | 29  | 29  |

в сочетании с проволокой Св-10НМА диаметром 4 мм на режимах, необходимых для практических целей.

В процессе выполнения сварочных работ систематически осуществлялся контроль качества сварных соединений разрушающими и неразрушающими методами по выявлению наружных и внутренних дефектов и по определению механических свойств. Для изготовления образцов использовали выводные планки, применяемые при сварке монтажных стыковых соединений, либо технологические пробы, применяемые для отработки режимов сварки. В ряде случаев для уточнения полученных данных образцы изготавливались непосредственно из штатных сварных соединений.

Статическому растяжению на разрывной гидравлической машине Р-100 подвергали образцы типа XIII по ГОСТ 6996-66. Ударную вязкость при нормальных и пониженных температурах определяли на образцах типа VI по ГОСТ 6996-66. Структуру металла сварного шва и околошовной зоны (ОШЗ) изучали с помощью оптического микроскопа Neophot 32 при увеличении до 500. Фазовый состав, тонкую структуру, качественный и количественный анализ морфологических и структурных составляющих продуктов распада аустенита в металле ОШЗ и зоны сплавления изучали с помощью рентгеновских съемок на дифрактометре ДРОН-2,0, просвечи-

вающей электронной микроскопии с использованием дифракционного свето- и темнопольного изображения.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Установлено, что сварные соединения ортотропных плит из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, выполненные односторонней одно- и двухпроходной автоматической сваркой под флюсом проволокой с МХП на медных формирующих подкладках обладают необходимыми прочностными и пластическими свойствами, которые находятся на уровне свойств основного металла (рис. 1). Вместе с тем данные сварные соединения, полученные односторонней сваркой под флюсом как в летних, так и в зимних условиях на погонных энергиях свыше 50 тыс. Дж/см, оказались чувствительными к низкотемпературному охрупчиванию, особенно по зоне сплавления. В большей степени охрупчивание при -60 °С наблюдалось при сварке в зимних условиях при температуре окружающей среды -15...-20 °С, с применением медных формирующих подкладок (табл. 3, вар. 1, 3). Применение многопроходной автоматической сварки под флюсом на пониженных погонных энергиях с использованием стальных подкладок со вставленными полосками из листового стекла по ГОСТ 111-2014 толщиной 4...5 мм, обеспечивает формирование качественных сварных соединений при сварке как в летних, так и в зимних условиях (табл. 3, вар. 2, 4).

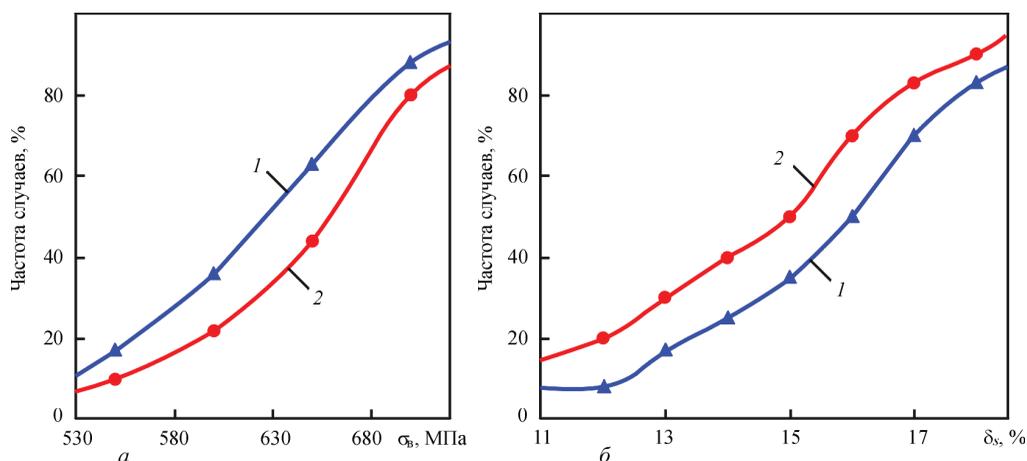


Рис. 1. Частотные кривые распределения временного сопротивления на разрыв (а) и относительного удлинения (б) сварных соединений из сталей 10ХСНДА (1) и 15ХСНДА (2)

Таблица 3. Ударная вязкость металла одно- и двухпроходных стыковых сварных соединений сталей

| Номер варианта | Марка стали сварного соединения | Толщина стенки стыкового соединения, мм | Количество проходов | Среднее значение погонной энергии сварки прохода, Дж/см | Среднее значение времени пребывания металла при температуре свыше 1300 °С, с | Ударная вязкость КСЧ при -60 °С, Дж/см <sup>2</sup> |            |                 |
|----------------|---------------------------------|---|---------------------|---|--|---|------------|-----------------|
|                |                                 |   |                     |   |  | Основной металл                                     | Металл шва | Зона сплавления |
| 1              | 15ХСНДА                         | 12                                      | 1                   | 63 000  | 56,0   | 90...110  | 35...50    | 15...25         |
| 2              | 15ХСНДА                         | 12                                      | 2                   | $\frac{45\ 000}{40\ 000}$                               | $\frac{28,5}{24,0}$  | 90...110  | 55...70    | 40...50         |
| 3              | 10ХСНДА                         | 12                                      | 1                   | 63 500  | 57,0   | 80...100  | 35...40    | 10...15         |
| 4              | 10ХСНДА                         | 12                                      | 2                   | $\frac{44\ 000}{40\ 000}$                               | $\frac{28,0}{24,0}$  | 80...100  | 50...60    | 35...45         |

Примечание. В числителе погонная энергия и время пребывания металла первого прохода, в знаменателе – второго.

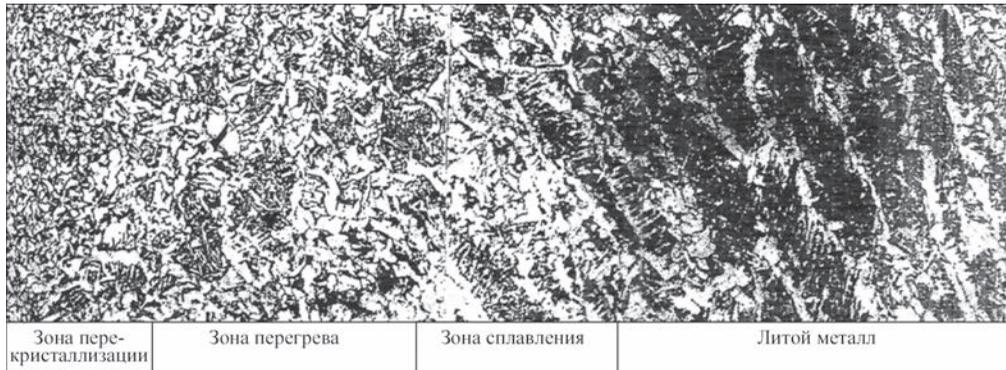


Рис. 2. Микроструктура (×250) сварного шва из стали 15ХСНДА, выполненного односторонней однопроходной автоматической сваркой под флюсом на повышенных погонных энергиях (табл. 3, вар. 1)

Опыт показывает, что сварка на повышенных погонных энергиях на медных подкладках приводит к кипению расплавленного металла с последующими его выплесками через флюсовую корку, появлению пор, наплывов и других дефектов сварного шва.

Исследованиями структуры образцов, вырезанных непосредственно из штатных стыковых соединений, установлено, что при автоматической сварке под флюсом данных сталей на повышенных погонных энергиях (табл. 3, вар. 1, 3) в ОШЗ формируется крупное зерно с наличием тонких пластинок α-фазы, пронизывающих зерна с продуктами промежуточного распада аустенита, что свидетельствует о наличии сильного перегрева, приведшего к формированию неблагоприятной видманштеттовой структуры (рис. 2).

В зоне сплавления период решетки α-фазы больше, чем у феррита, входящего в структуру основного металла. Скалярная плотность дефектов

кристаллического строения находится на уровне скалярной плотности дефектов кристаллического строения мартенситной α-фазы, формирующейся при распаде аустенита в области мартенситного превращения (табл. 4). В стыках, внутри зерна и на границах ферритных кристаллов присутствуют как крупные, так и мелкие карбиды, преимущественно пластинчатой формы (рис. 3). Амплитуда кривизны кручения кристаллической решетки достигает 950...1000 см<sup>-1</sup> и по своему значению приближается к максимальной величине, отмечаемой в мартенситной α-фазе (табл. 4).

Установлено, что при многослойной сварке на пониженных погонных энергиях (табл. 3, вар. 2, 4), с применением стеклянной подкладки, видманштеттовая структура отсутствовала. В ОШЗ формировалась ферритно-перлитная структура с величиной зерна номерами 6, 5 по ГОСТ 5640-68. Ферритная α-фаза имеет значительно меньший период своей кристаллической решетки по сравнению с α-фа-

Таблица 4. Физические характеристики α-фазы

| Наименование  | Период кристаллической решетки, нм | Скалярная плотность дислокаций ρ, 10 <sup>9</sup> , см <sup>-2</sup> | Амплитуда кривизны кручения кристаллической решетки, см <sup>-1</sup> |
|---|------------------------------------|--|---|
| Табличное значение для α-фазы Fe [6]                  | 0,28664                            | –  | –   |
| Сталь 15ХСНДА в нормализованном состоянии             | 0,28720                            | 1,55...2,15  | 450...550   |
| Мартенситная α-фаза                                   | 0,28860                            | 6,40...7,60  | 1350...1400   |
| Сварное соединение (зона сплавления). Табл. 3, вар. 1 | 0,28770                            | 5,60...6,70  | 950...1000  |
| Сварное соединение (зона сплавления). Табл. 3, вар. 2 | 0,28735                            | 2,10...3,20  | 560...640   |

Примечание. Точность определения периода решетки ± 0,00005 нм, скалярной плотности дислокаций ± 0,2·10<sup>9</sup> см<sup>-2</sup>, кривизны кручения кристаллической решетки 50 см<sup>-1</sup>.

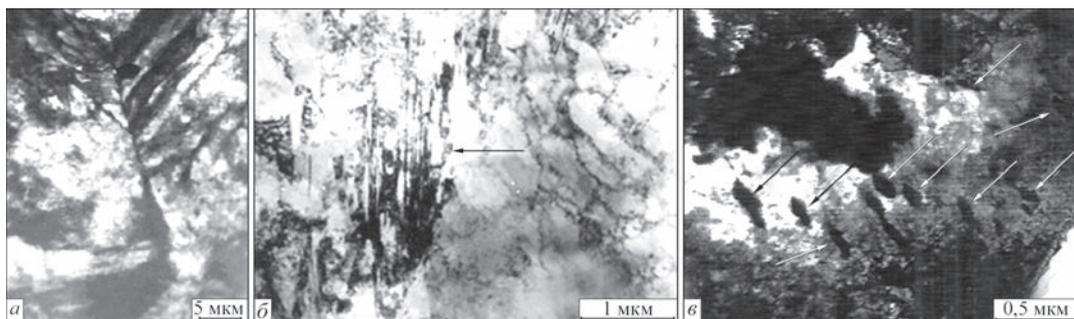


Рис. 3. Тонкая структура в локальных участках зоны сплавления сварного соединения из стали 15ХСНДА: *а* — фрагмент линии сплавления; *б* — скопление карбидов пластинчатой формы; *в* — пластины  $\alpha$ -фазы с однонаправленными карбидными частицами (отмечены стрелками)

зой, формирующейся при сварке на повышенных погонных энергиях (табл. 4). Скалярная плотность дефектов кристаллического строения находится в пределах скалярной плотности дефектов кристаллического строения в доэвтектоидном феррите основного металла проката категории 2, поставляемого после нормализации. В поле кристаллов и по границам  $\alpha$ -фазы наличие карбидов не просматривалось.

Дополнительным подтверждением полученных при электронной микроскопии данных о наличии в зоне сплавления карбидных и карбонитридных включений могут служить результаты микрохимического анализа, выполненного на установке «МАР-1» (микроанализатор рентгеновский) по методике, изложенной в работе [6]. Установлено, что на образцах, полученных при односторонней однопроходной автоматической сварке под флюсом на повышенных погонных энергиях, при прохождении электронного пучка по зоне сплавления четко фиксировались фосфоресцирующие вспышки при попадании в электронный пучок карбидных и карбонитридных включений ниобия, ванадия и других карбидообразующих элементов, входящих в состав сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА. При микрохимическом анализе образцов, сваренных многослойной сваркой на пониженных погонных энергиях, количество фосфоресцирующих вспышек при попадании в электронный пучок карбидных и карбонитридных включений, резко уменьшалось. Их количество в зоне сплавления не превышало аналогичных показателей в основном металле.

Полученные данные, а также данные, ранее изложенные в работе [2] позволяют заключить, что сварка на повышенных (свыше 50 тыс. Дж/см) погонных энергиях сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, микролегированных сильными карбидообразующими элементами, приводит к длительному пребыванию металла шва и ОШЗ в области высоких (свыше 1300 °С) температур. Это обуславливает более полное растворение в жидкой фазе и аустените карбидов и карбонитридов, рост зерна аустенита. Последующее охлаждение вызывает формирование неблагоприятной видманштеттовой

структуры, выпадение из аустенита и расплава карбонитридов ванадия, ниобия и хрома, которые по мнению [7, 8] способствуют локальному искажению кристаллической решетки  $\alpha$ -фазы, снижению подвижности дислокаций, особенно при отрицательных температурах и, как следствие, затруднению процесса скольжения при деформации.

Таким образом, основной причиной низкой сопротивляемости ударным нагрузкам при отрицательных температурах сварных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА, полученных односторонней автоматической сваркой под флюсом сплошной проволокой с гранулированной присадкой на повышенных (свыше 50 тыс. Дж/см) погонных энергиях с применением медных формирующих подкладок, следует считать сформировавшуюся в зоне сплавления крайне неоднородную структуру, состоящую из дислоцированного феррита, насыщенного карбидными и карбонитридными включениями, которые служат своеобразными концентраторами напряжений, обуславливая хрупкость соединения. Целесообразности применения стеклянной подложки при автоматической сварке под флюсом стальных мостовых конструкций придерживаются авторы работы [9].

В заключение можно отметить, что настоящие результаты и более ранний опыт выполнения сварочных работ в экстремальных климатических условиях Западной Сибири требуют оптимизации промышленной технологии автоматической сварки под флюсом на монтаже. Она сводится к выполнению сварки в два прохода на пониженных погонных энергиях и применению стеклянных подложек. При этом, как правило, первый проход следует выполнять на погонных энергиях 30...35 тыс. Дж/см с уменьшенной на 20...30 % высотой засыпки крупки, что обеспечивает гарантированный провар корня шва. Второй проход, при толщине свариваемых кромок 12...14 мм, формирует более «аккуратный» по высоте сварочный шов, так как первый проход не заполняет весь объем зазора. При сварке на стеклянных подложках уменьшается скорость охлаждения сварного

соединения в районе температур фазовых превращений, что предотвращает образование промежуточных (бейнитных) и закалочных структур. При выполнении сварочных работ в осенне-зимних условиях следует особо контролировать температуру подогрева и сварку выполнять на предварительно подогретых стальных подкладках, в пазы которых вставлены стеклянные полосы толщиной 4...5 мм. С учетом местных климатических условий, особенностей конструкции мостового перехода, для получения качественных сварных соединений, на каждом новом объекте, необходимо тщательно отрабатывать технологию автоматической сварки под флюсом, применяя для этих целей металл так называемых технологических проб, поставляемых на строительную площадку вместе с металлоконструкциями.

### Список литературы

1. СТО-ГК «Трансстрой»-005-2007. Стандарт организации. *Стальные конструкции мостов. Технология монтажной сварки.*
2. Чепрасов Д. П., Иванайский Е. А., Платонов А. С. и др. (1998) Свойства монтажных сварных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА. *Сварочное производство*, **6**, 16–18.
3. Чепрасов Д. П., Петров В. П., Иванайский Е. А. и др. (2003) Водородная хрупкость монтажных сварных соединений мостовых конструкций из сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА. *Там же*, **3**, 12–16.
4. ТУ 14-1-5120-2008 *Прокат толстолистовой из низколегированной стали высокого качества для мостостроения.*
5. Ледников Е. А., Чепрасов Д. П., Конник Д. А. (2017) Хладостойкость сварных соединений стальных мостовых конструкций из высококачественных сталей 10ХСНДА и 15ХСНДА. *Ползуновский альманах*, **1**, 84–90.
6. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. (1970) *Рентгенографический и электроннооптический анализ. Практическое руководство по рентгенографии, электроннографии и электронной микроскопии металлов, полупроводников и диэлектриков.* Москва, Металлургия.
7. Добротина З. А., Литвиненко С. П., Розанова Г. А. (1979) Хладостойкость сварных соединений стали 09Г2СБФ. *Сварочное производство*, **1**, 25–27.
8. Брайент К. Л., Бенерджен С. К. (ред-ы) (1988) *Охрупчивание конструкционных сталей и сплавов.* Пер. с англ. Москва, Металлургия.
9. Музалев В. Н., Семухин Б. С. (2015) Особенности сварки металлических пролетных строений мостов. *Вестник ТГАСУ*, **2**, 184–193.

### References

1. STO-GK Transstroy-005-2007: Standard of organization. *Steel bridge structures. Technology of field welding* [in Russian].
2. Cheprasov, D.P., Ivanajsky E.A., Platonov, A.S. et al. (1998) Properties of field welded joints of bridge structures from steels 10KhSNDA and 15KhSNDA. *Svarochn. Proizvodstvo*, **6**, 16-18 [in Russian].
3. Cheprasov, D.P., Petrov, V.P., Ivanajsky E.A. et al. (2003) Hydrogen brittleness of field welded joints of bridge structures from steels 10KhSNDA and 15KhSNDA. *Ibid.*, **3**, 12-16 [in Russian].
4. TU 14-1-5120-2008: *Rolled plate from high-quality low-alloy steel for bridge engineering* [in Russian].
5. Lednikov, E.A., Cheprasov, D.P., Konnik, D.A. (2017) Cold resistance of welded joints of steel bridge structures

- from high-quality steels 10KhSNDA and 15KhSNDA. *Polzunovskiy Almanakh*, **1**, Izd-vo AltGTU [in Russian].
6. Gorelik, S.S., Rastorguev, L.N., Skakov, Yu.A. (1970) X-ray and electro-optical analysis. *Practical guide on radiography, electronography and electron microscopy of metals, semiconductors and dielectrics.* Moscow, Metallurgiya [in Russian].
  7. Dobrotina, Z.A., Litvinenko, S.P., Rozanova, G.A. (1979) Cold resistance of welded joints of 09G2SBF steel. *Svarochn. Proizvodstvo*, **1**, 25-27 [in Russian].
  8. (1988) *Embrittlement of structural steels and alloys.* Ed. by K.L. Bryant et al. Moscow, Metallurgiya [in Russian].
  9. Muzalev, V.N., Semukhin, B.S. (2015) Peculiarities of welding of metal bridge spans. *Vestnik TGASU*, **2**, 184-193 [in Russian].

Д. П. Чепрасов<sup>1</sup>, Ю. А. Кузнецов<sup>2</sup>, С. О. Ледников<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АлтДТУ ім. І. І. Ползунова.

656038, Росія, м. Барнаул, просп. Леніна, 46.

E-mail: ar\_gac@mail.ru

<sup>2</sup>АФ ВАТ «Сибмост», Мостозагін-96.

656011, Росія, м. Барнаул, просп. Леніна, 119а

<sup>3</sup>ТОВ «ГАЦ АР НАКЗ».

656000, Росія, м. Барнаул, Червоноармійський просп. 71

### АВТОМАТИЧНЕ ЗВАРЮВАННЯ ПІД ФЛЮСОМ ПРОГІННИХ БУДОВ МОСТІВ З ВИСОКОЯКІСНИХ СТАЛЕЙ 10ХСНДА і 15ХСНДА В МОНТАЖНИХ УМОВАХ

Представлено результати оптимізації технології автоматичного зварювання під флюсом, яке виконується на монтажі при спорудженні мостових переходів із сталей 10ХСНДА та 15ХСНДА (ТУ 14-1-5120-2008) в умовах Західно-Сибірського регіону. З урахуванням місцевих кліматичних і температурних умов, призначення металлоконструкцій, принципу легування сталей і товщини зварювальних листів встановлено, що зварювання необхідно виконувати на режимах, що забезпечують погонну енергію в межах 30...35 тис. Дж/см в два проходи, на скляній підкладці зі зменшеною на 20...30 % висотою засипки механохімічної присадки. Забезпечення необхідних в'язкості і міцності зварних з'єднань за цією технологією пояснюється сприятливими умовами для фазових перетворень і утворення однорідної структури в металі шва і ЗТВ. Бібліогр. 9, табл. 4, рис. 3.

*Ключові слова:* мостові конструкції, автоматичне зварювання під флюсом, погонна енергія, зона сплавлення, окрихнення

D. P. Cheprasov<sup>1</sup>, Y. A. Kuznetsov<sup>2</sup>, E. A. Lednikov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Polzunov Altai State Technical University.

46 Lenina Ave., Barnaul, Russia, 656038.

E-mail: ar\_gac@mail.ru

<sup>2</sup>«SIBMOST OJSC», Mostootryad-96.

119a Lenina Ave., Barnaul, Russia, 656011

<sup>3</sup>«GATs AR NAKS» LLC. 71 Krasnoarmeyskii Ave., Barnaul, Russia, 656000

### AUTOMATIC SUBMERGED ARC WELDING OF BRIDGE SPANS OF HIGH-QUALITY STEELS 10KhSNDA and 15KhSNDA IN FIELD

Presented are the results of optimization of technology of submerged arc welding performed in assembly at construction

Strength of welded joints on this technology is examined by fatigue conditions for separate materials and for material in the structure in weld metal and HAZ. 9 Ref., 4 Tab., 3 Fig.

Keywords: bridge structures, automatic submerged arc welding, fatigue, fracture, embrittlement

Strength of welded joints on this technology is examined by fatigue conditions for separate materials and for material in the structure in weld metal and HAZ. 9 Ref., 4 Tab., 3 Fig.

Keywords: bridge structures, automatic submerged arc welding, fatigue, fracture, embrittlement

Поступила в редакцию 15.02.2018

## Правила для авторов журнала «Автоматическая сварка»

[www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/as](http://www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/as)

Международный научно-технический и производственный журнал «Автоматическая сварка» издается Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАНУ ежемесячно с 1948 г. на русском языке, ISSN 0005-111X, подписной индекс 70031, DOI: <http://dx.doi.org/10.15407/as>

Полный перевод на английский язык журнала «Автоматическая сварка» издается в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАНУ под названием «The Paton Welding Journal» с 2000 г., ISSN 0957-798X, подписной индекс 21971, DOI: <http://dx.doi.org/10.15407tpwj>.

В журнале «Автоматическая сварка» публикуются оригинальные статьи и обзоры по всем направлениям развития сварки, наплавки, резки, пайки, нанесения покрытий и других родственных технологий. Все рукописи рецензируются. Публикация статей в журнале бесплатная, гонорар не выплачивается. Редакционная коллегия журнала руководствуется в своей работе международными этическими нормами научных публикаций и придерживается политики открытого доступа.

### Основные требования

1. Стандартный объем статьи 8-10 страниц текста, включая реферат, ключевые слова, таблицы, до 6-8 рисунков, библиографический список (объем обзорной статьи может быть увеличен до 12-14 страниц). Текст печатается через 1,5 интервала шрифтом Times New Roman, 12 кегль. Для набора формул используется только встроенный в Microsoft Word редактор формул Math Type 6.8 (формулы нельзя вставлять как сканированный рисунок или как импортированный объект из другого редактора; просьба НЕ ИСПОЛЬЗОВАТЬ встроенный в Microsoft Word редактор формул). Название статьи, сведения об авторах (ФИО, адрес организации, электронный адрес и телефон), реферат и ключевые слова подавать на русском, украинском и английском языках. Рисунки не следует перегружать второстепенными данными. Физические единицы и обозначения необходимо давать в Международной системе единиц СИ. Сведения об авторах должны также включать их библиометрический профиль ORCID (ResearcherID).

Публикацию статьи ускорит представление ее в электронном виде по электронной почте в формате Word. Иллюстрации представляются в отдельных файлах в формате\*.tif (300 dpi) для растровой и \*.cdr (600 dpi) для векторной графики.

2. В статье должно быть не более 5 авторов (других, принимавших участие в работе, можно указать в сноске).

3. Объем реферата должен составлять около 1000 знаков (12 строк) с одним пробелом между словами. В нем должны быть отражены цель, методики и основные результаты, но не в форме выводов. Реферат не должен содержать формул и греческих букв. Ключевые слова: 7-10 слов или словосочетаний.

4. Каждая рукопись должна быть снабжена библиографическим списком, включающим 8 (min)-20 (max) ссылок; собственные работы авторов могут составлять не более четверти списка, ссылки на источники до 2000 г. желательно минимизировать. Цитируемая в статье литература должна быть оформлена в соответствии с Гарвардским стилем (см. предыдущие выпуски журнала, начиная с №№ 5-6 за 2017 г.).

5. Рукопись статьи должна быть подписана всеми авторами (или одним автором от имени авторского коллектива). К рукописи прилагается лицензионный договор по передаче авторских прав редакции журнала на публикацию статьи, форма договора находится на сайте: [www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/as/license](http://www.patonpublishinghouse.com/rus/journals/as/license).

6. Несоответствие материалов статьи указанным требованиям (пп. 1-5) может служить поводом для отказа в публикации.

7. Авторы могут получить статьи из журналов «Автоматическая сварка» и «The Paton Welding Journal» по электронной почте в формате \*.pdf (по запросу).