

Применение сварочной проволоки различных диаметров при изготовлении металлоконструкций



**Малых
Николай
Викторович**

аспирант, Уральский федеральный университет (УрФУ), ООО «ЕВРАЗ Стил Билдинг», директор по качеству, Москва, Российская Федерация

e-mail: Nick-malyh@mail.ru

В статье рассмотрено противоречие между выбором сварочных материалов для механизированной сварки, предписываемых нормами проектирования, и фактическим положением в отрасли изготовления стальных конструкций. В действующих нормах указаны диаметры и марки сварочной проволоки, которые отсутствуют на заводах металлоконструкций. Исследование показывает несовершенство некоторых пунктов действующих норм и создает основу для проведения серии экспериментов для последующей переработки нормативной базы.

Ключевые слова: металлические конструкции, стальные строительные конструкции, изготовление металлоконструкций, чертежи КМ, чертежи КМД.

Malykh N. V., Belyaeva Z. V.

The use of welding wire of various diameters in the manufacture of steel structures

The article examines the contradiction between the choice of welding materials for mechanized welding prescribed by design standards and the actual situation in the steel structure manufacturing industry. The current standards specify diameters and grades of welding wire that are not available at metal structure plants. The study shows the imperfection of some points of the current standards and creates the basis for conducting a series of experiments for the subsequent revision of the regulatory framework.

Keywords: steel structures, production of steel structures, mechanized welding with a consumable electrode in a shielding gas environment.



**Беляева
Зоя
Владимировна**

кандидат технических наук, заведующий кафедрой, Институт строительства и архитектуры, Уральский федеральный университет (УрФУ), Екатеринбург, Российская Федерация

e-mail: z.v.belyaeva@urfu.ru

Введение

Использование сварочной проволоки в среде защитных газов — это распространенный метод сварки, известный как полуавтоматическая сварка или MIG/MAG-сварка (Metal Inert Gas/Metal Active Gas). Способ сварки хорошо зарекомендовал себя и имеет ряд преимуществ [10].

Сварка в среде защитных газов в настоящее время практически полностью вытеснила ручную дуговую сварку [1]. Вот основные компоненты и преимущества этого процесса:

- сварочная проволока — основной материал, который плавится и формирует сварной шов [2, 10];
- источник питания — обычно это сварочный аппарат, который создает электрический ток, необходимый для создания дуги [4];
- сварочный пистолет — устройство, через которое подается сварочная проволока и позволяющее сварщику управлять процессом, также через него осуществляется подача защитного газа [8];
- защитный газ, предотвращающий окисление расплавленного металла сварочной ванны и защищающий электрическую дугу от внешних воздействий.

Преимущества сварки проволокой в среде защитных газов включают в себя [7]:

- высокую производительность — этот метод обеспечивает быструю и эффективную сварку, что особенно полезно при сварке на производстве [11];
- высокое качество шва — защитные газы помогают предотвратить образование дефектов в сварном шве, таких как поры и включения, также уменьшается количество сварочных брызг [6];
- удобство использования — поскольку проволока подается автоматически, этот метод обычно более легок в использовании, чем, например, ручная дуговая сварка, что позволяет существенно увеличить производительность.

Характеристика ключевых понятий работы

Активное развитие отечественной сварки сталей в среде защитных газов началось с использования чистого углекислого газа [5]. Технология была разработана в 1952 г. совместно с ЦНИИТМАШ и Институтом электросварки им. Е. О. Патона. Первоначально сварка в среде защитных газов выполнялась только в нижнем пространственном положении и давала изрядное количество брызг, что отрицательно сказывалось на качестве и производительности.

Со временем технология развивалась и снижались упомянутые недостатки. В настоящее время MIG/MAG-сварка является самым часто применяемым способом сварки [13], в том числе за счет усовершенствования источников питания, перехода на меньшие диаметры проволоки [12] и сварочные смеси, позволяющие снизить количество дефектов сварных швов и вести сварку в различных пространственных положениях.

Переход на механизированную сварку в среде защитных газов при изготовлении металлоконструкций в России массово начал осуществляться в период 1990–2010 гг. При разработке проектов стадии КМ (конструкции металлические) и расчете сварных швов инженеры-проектировщики руководствовались требованиями действующего в те годы СНиП II-23-81*¹ Стальные конструкции. В тот период заводы-изготовители активно применяли сварочную проволоку диаметром 1,4–1,6 мм, что при переходе с ручной дуговой сварки давало положительный эффект в производительности и качестве, минимизировало деформации и повышало показатели ударной вязкости [3].

Действующие нормативные требования

Постепенно большинство российских заводов перешло на полуавтоматическую сварку с использованием проволоки диаметром 1,2 мм, что дает наилучший экономический эффект. Благодаря развитию технологий качество сварных швов, выполненных сварочной проволокой диаметром 1,2 мм, не отличается от качества швов, сваренных с использованием проволоки большего диаметра. Однако в действующем СП 16.13330.2017 в таблице 39² коэффициенты β_f и β_z для расчета сварных швов для механизированной сварки с использованием тонкой сварочной проволоки по-прежнему указываются такие же, как и для ручной дуговой сварки.

Прочность сварного шва определяется в большинстве случаев произведением $R_{wf}\beta_f$, и согласно действующим положениям СП16.13330.2017 (см. Таблицу 2) получается, что для сварного шва катетом от 3 до 8 мм, выполненного проволокой одной марки, например Св08Г2С, при диаметре проволоки 1,2 мм $R_{wf}\beta_f = 215 \cdot 0,7 = 150,5$ МПа, а при диаметре 1,5 мм $R_{wf}\beta_f = 215 \cdot 0,9 = 193,5$ МПа. Предполагаемое различие прочности составляет 22%, чего по опыту авторов не наблюдается в фактически выполненных швах.

Проведение исследования

Для проверки предположения, что на современном оборудовании при выполнении сварных швов механизированной сваркой в среде защитных газов диаметр при-

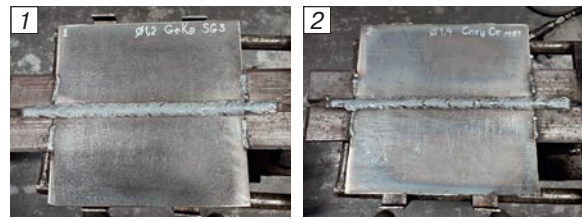


Иллюстрация 1. Заваренные сварочные образцы:

1 — образец № 65; 2 — образец № 66.
Авторы фото: Н. В. Малых, З. В. Беляева

Таблица 1. Режимы сварки

Номер прохода	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость подачи проволоки, м/мин
Для образца № 65				
Первый	1,2	170–190	22–24	6,1–6,3
Последующие	1,2	250–270	26–28	13,3–16,5
Для образца № 66				
Первый	1,4	180–200	22–24	6,1–6,3
Последующие	1,4	280–300	26–28	14–17

меняемой сварочной проволоки не влияет на прочность сварных швов, была проведена серия экспериментов. С целью фактического определения механических свойств металла сварных швов в декабре 2023 г. на Нижнетагильском заводе металлических конструкций было выполнено несколько образцов сварных швов — стыковых и угловых, затем в Центральной заводской лаборатории были проведены испытания образцов на твердость, растяжение, статический и ударный изгиб.

В первой части эксперимента испытывались образцы со стыковыми швами. Были выполнены два образца размером 300×14×600 мм из стали С355 (Иллюстрация 1) — № 65 (выполнялся проволокой диаметром 1,2 мм) и № 66 (выполнялся проволокой диаметром 1,4 мм). Тип сварного соединения — стыковое С21 по ГОСТ 14771–76. В качестве защитного газа использовалась смесь газов — 82% аргона (Ar) + 18% углекислого газа (CO₂). Режимы сварки представлены в Таблице 1.

После сварки был произведен неразрушающий и разрушающий контроль сварных соединений образцов согласно требованиям ГОСТ 23118–2019 и СП 70.13330.2012. По итогам проведенного визуального, измерительного и ультразвукового контроля недопустимых дефектов не выявлено.

Далее, для подтверждения равнопрочности сварных соединений проведен разрушающий контроль, в том числе для определения показателей твердости, предела прочности, ударной вязкости, относительного удлинения заваренных образцов (см. Иллюстрации 2–4).

Полученные в ходе испытаний данные сведены в Таблице 2. Данные, полученные в ходе испытаний, свидетельствуют о равнопрочности наплавленного металла основному металлу соединений и для случая с использованием проволоки диаметром 1,4 мм, и для случая с использованием проволоки 1,2 мм.

В дальнейшем были выполнены образцы для испытания угловых швов на статическое растяжение — два стальных бруска толщиной 14 мм были сварены тавровым соединением через поперечный стыковочный элемент толщиной также 14 мм. Катеты угловых швов были 6 мм, что заведомо меньше толщины соединяемых элементов. Затем полученные соединения были испытаны на растяжение (см. Иллюстрацию 5). Разрыв обоих образцов произошел по сварному шву при практически одинаковых напряжениях — 195 Н/мм².

1 См.: Таблица 34 по СНиП II-23-81* // СНиП II-23-81* «Строительные нормы и правила. Ч 2. Нормы проектирования. Гл. 23. Стальные конструкции. Дата введения: 1982-01-01». М.: Центр. ин-т типового проектирования, 1990. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1723357252&tld=ru&lang=ru&name=7-1.pdf&text=%D0%A1%D0%9D%D0%B8%D0%9F%20II-23-81&url=https%3A%2F%2Fnp-solis.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F06%2F7-1.pdf&lr=54&mime=pdf&l10n=ru&sign=dd3133bafccbbcbecf31b22ef4c865&keyno=0&serpParams=tm%3D1723357252%26tld%3Dru%26lang%3Dru%26name%3D7-1.pdf%26text%3D%25D0%25A1%25D0%259D%25D0%25B8%25D0%259F%20II-23-81%26url%3Dhttps%25A%2F%2Fnp-solis.com%2Fwp-content%2Fuploads%2F2020%2F06%2F7-1.pdf%26lr%3D54%26mime%3Dpdf%26l10n%3Dru%26sign%3Ddd3133bafccbbcbecf31b22ef4c865%26keyno%3D0> (дата обращения: 16.07.2024).

2 См.: Таблица 39. Коэффициенты для расчета сварных угловых швов по СП 16.13330.2017 // СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*» (с поправкой, с изм. №1). СП (Свод правил) от 27.02.2017 № 16.13330.2017 Применяется с 28.08.2017. Заменяет СП16.13330.2011). С. 76–77. URL: <https://steel-fabrication.ru/upload/iblock/08b/%D0%A1%D0%9F%2016.13330.2017%20%D0%B8%D0%B7%D0%BC1.pdf?ysclid=lpz62h1xk3531205607> (дата обращения: 16.07.2024).

Таблица 2. Результаты испытаний технологических проб № 65, 66

Контролируемый параметр	Значения для технологической пробы № 65 (проволока 1,2 мм)	Значения для технологической пробы № 66 (проволока 1,4 мм)	Примечание
Угол фактического загиба, градусы	102–104	105–108	Трещин нет
Твердость, HV (основной металл/ЗТВ/металл шва)	160–164/192–208/180–208	112–168/160–168/168–208	Годен, контрольное значение ≤ 350
Испытание на растяжение, предел прочности σ_u , Н/мм ² , образец тип XII	525–540	440	Годен, разрыв по основному металлу
KCV-40, Дж/см ² (надрез по оси шва)	67–138	51–113	Годен
KCV-40, Дж/см ² (надрез по линии сплавления)	164–263	123–205	Годен
Временное сопротивление разрыву проволоки, кгс/мм ²	117–122	104	Соответствует нормативам, указанным в сертификате
Испытание на растяжение металла шва, образец тип II, σ_y , Н/мм ²	520–540	470–510	Годен, не ниже предела текучести основного металла 325 Н/мм ²
Испытание на растяжение металла шва, образец тип II, σ_u , Н/мм ²	629–630	570–620	Годен, не ниже предела прочности основного металла 470 Н/мм ²
Испытание на растяжение металла шва, образец тип II, относительное удлинение, %	23–27	19–23	Не ниже среднего предела относительного удлинения, δ_5 : 16%

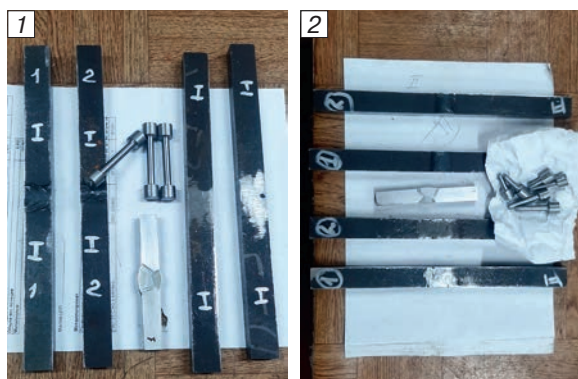


Иллюстрация 2. Изготовление проб для испытаний: 1 — из образца № 65; 2 — из образца № 66. Авторы фото: Н. В. Малых, З. В. Беляева



Иллюстрация 4. Испытание образцов на загиб и определение твердости основного металла, зоны термического влияния и металла шва. Авторы фото: Н. В. Малых, З. В. Беляева

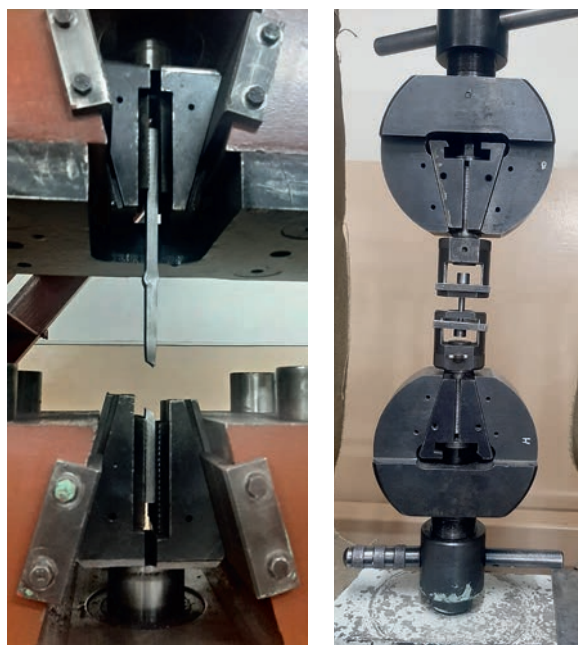


Иллюстрация 3. Испытание на растяжение образцов со сварным стыковым швом и образцов из основного металла. Авторы фото: Н. В. Малых, З. В. Беляева



Иллюстрация 5. Разрушение тавровых сварных соединений: 1 — заваренного проволокой диаметром 1,2 мм; 2 — заваренного проволокой диаметром 1,4 мм. Авторы фото: Н. В. Малых, З. В. Беляева

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о том, что механические свойства сварных соединений, выполненных проволоками диаметром 1,2 и 1,4 мм, имеют равнозначные значения, принципиально не влияющие на работоспособность соединения в целом. На основании чего можно допустить замену сварки в узлах соединений, к которым предъявляются требования ГОСТ 23118–2019, СП 53-101-98, СП 70.13330.2012 и которые по проекту выполняются проволокой Св-08Г2С диаметром 1,4 мм, на проволоку Св-08Г2С диаметром 1,2 мм.

В целом имеются предпосылки для проведения более масштабных испытаний с целью последующей актуализации нормативной базы.

Список использованной литературы

- [1] Аржанникова И. Е., Султанов Н. З. Исследование возможности применения перспективной технологии автоматической сварки плавящимся электродом авиационной техники // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры. Секция 1. «Научные и методические аспекты аэрокосмического образования». — Оренбург: ОГУ, 2015. — С. 10–16: [сайт] — URL: https://conference.osu.ru/assets/files/conf_info/conf11/s1.pdf (дата обращения: 16.07.2024).
- [2] Будниченко М. А., Аввакумов Ю. В. Внедрение современных сварочных материалов в кораблестроении. Разработка высокопроизводительной технологии механизированной сварки конструкций из высокопрочной стали с использованием порошковой проволоки ПП-А22/9 (Св-03Х22Н9АМ3) в смеси защитных газов // Морской вестник. — 2018. — № 3. — С. 51–56: [сайт] — URL: <http://morvest.ru/Full%20articles/MV-67arhiv.pdf> (дата обращения: 16.07.2024).
- [3] Гребенчук В. Г., Карасев М. В., Работинский Д. Н. и др. Влияние режимов механизированной сварки металлопорошковой проволокой роVVER BRIDGE 60М на свойства наплавленного металла при сварке мостовых конструкций // Сварка и диагностика. — 2009. — № 1. — С. 19–24.
- [4] Ерофеев В. А., Логвинов Р. А., Масленников А. В. Физико-математическая модель системы «Источник питания дуга» при дуговой сварке плавящимся электродом в защитном газе // Изв. Тульск. гос. ун-та. Технические науки. — 2008. — № 2. — С. 203–211: [сайт] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-matematicheskaya-model-sistemy-istochnik-pitaniya-duga-pri-dugovoy-svarke-plavyashchimsya-elektrodom-v-zaschitnom-gaze> (дата обращения: 16.07.2024).
- [5] Журавский С. М. Механизированная сварка плавящимся электродом с наложением механических импульсов ультразвуковой частоты на подачу сварочной проволоки // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: всерос. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Вып. 19. Ч. 2. — Новокузнецк: СибГИУ, 2015. — С. 221–223: [сайт] — URL: <https://library.sibsiu.ru/LibrPublicationsSectionsPublicationsFilesDownload.asp?lngSection=65&lngPublication=208&lngFile=221&strParent=LibrPublicationsSectionsPublicationsFiles> (дата обращения: 16.07.2024).
- [6] Ильященко Д. П., Васильев В. И., Брунов О. Г. и др. Влияние движения сварочной проволоки на стабильность процесса сварки // Интернет-журнал «Науковедение». — 2014 (20). — Вып. 1, январь-февраль. — С. 1–9: [сайт] — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/78TVN114.pdf> (дата обращения: 16.07.2024).
- [7] Крампит А. Г. Формирование шва в щелевой разделке при импульсно-дуговой сварке плавящимся электродом в защитных газах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.10. — Ростов-на-Дону, 2013. — URL: <https://www.disscat.com/content/formirovani-shva-v-shchelevoi-razdelke-pri-impulsno-dugovoi-svarke-plavyashchimsya-elektrod> (дата обращения: 16.07.2024).
- [8] Крампит Н. Ю., Крампит А. Г. Способ и устройство для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов // Вестн. Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». — 2014. — № 2 (95). — С. 114–121: [сайт] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-i-ustroystvo-dlya-impulsno-dugovoy-svarki-plavyashchimsya-elektrodom-v-srede-zaschitnyh-gazov> (дата обращения: 16.07.2024).
- [9] Низамов Р. А. Анализ структуры и свойств сварочных проволок марок Св-08Г2С и OKAristoRod // Наука в движении: от отражения к созданию реальности: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. — М., 2017. — С. 149–153.
- [10] Новиков Д. К. Характеристики контактных наконечников для механизированной сварки в защитных газах // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сб. трудов VI Всерос. науч.-практ. конф. для студентов и учащейся молодежи, 9–11 апреля 2015 г. — Югра — Томск: ТПУ, 2015. — С. 86–88: [сайт] — URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/17829/1/conference_tpu-2015-C57-029.pdf (дата обращения: 16.07.2024).
- [11] Овчинников В. В. Современные виды сварки. — М.: Изд. центр «Академия», 2016. — 208 с. — URL: https://urpc.ru/student/pechatnie_izdania/008_705214216_Ovchinnikov.pdf (дата обращения: 16.07.2024).
- [12] Mazur M., Ulewicz R., Bokuvka O. The impact of welding wire on the mechanical properties of welded joints // Materiálové Inžinierstvo. — 2014. — Vol. 21. — № 3. — P. 122–128: [сайт] — URL: <https://scholar.archive.org/work/pcvvijsfva6pb5ppdgw6mx3ti/access/wayback/http://ojs.mateng.sk/index.php/Mateng/article/view/File/153/197> (дата обращения: 16.07.2024).
- [13] Üstündağ Ö., Avilov V., Gumenyuk A. et al. Improvement of filler wire dilution using external oscillating magnetic field at full penetration hybrid laser-arc welding of thick materials // Metals. — 2019. — Vol. 9. — P. 1–10: [сайт] — URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/9/5/594/pdf?version=1558609663> (дата обращения: 16.07.2024).

References

- [1] Arzhannikova I. E., Sultanov N. Z. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya perspektivnoy tekhnologii avtomaticheskoy svarki plavyashchimsya elektrodom aviacionnoj tekhniki // Universitetskij kompleks kak regional'nyj centr obrazovaniya, nauki i kul'tury. Sekciya 1. «Nauchnye i metodicheskie aspekty aerokosmicheskogo obrazovaniya». — Orenburg: OGU, 2015. — S. 10–16: [sajt] — URL: https://conference.osu.ru/assets/files/conf_info/conf11/s1.pdf (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [2] Budnichenko M. A., Avvakumov Yu. V. Vnedrenie sovremennyh svarochnyh materialov v korablestroenii. Razrabotka vysokoproizvoditel'noj tekhnologii mekhanizirovannoj svarki konstrukcij iz vysokoprochnoj stali s ispol'zovaniem poroshkovoj provoloki PP-A22/9 (Sv-03H22N9AM3) v smesi zaschitnyh gazov // Morskoy vestnik. — 2018. — № 3. — S. 51–56: [sajt] —

- URL: <http://morvest.ru/Full%20articles/MV-67arhiv.pdf> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [3] Grebenchuk V.G., Karasev M.V., Rabotinskij D.N. i dr. Vliyaniye rezhimov mekhanizirovannoy svarki metallopороshkovoy provolokoy poVVVER BRIDGE 60M na svoystva naplavlennogo metalla pri svarke mostovoyh konstrukcij // Svarka i diagnostika. — 2009. — № 1. — S. 19–24.
- [4] Erofeev V.A., Logvinov R.A., Maslennikov A.V. Fiziko-matematicheskaya model' sistemy «Istochnik pitaniya duga» pri dugovoy svarkе plavyashchimsya elektrodom v zashchitnom gaze // Izv. Tul'sk. gos. un-ta. Tekhnicheskie nauki. — 2008. — № 2. — S. 203–211: [sajt] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/fiziko-matematicheskaya-model-sistemy-istochnik-pitaniya-duga-pri-dugovoy-svarke-plavyaschimsya-elektrodom-v-zaschitnom-gaze> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [5] Zhuravskij S.M. Mekhanizirovannaya svarka plavyashchimsya elektrodom s nalozheniem mekhanicheskikh impul'sov ul'trazvukovoy chastoty na podachu svarochnoy provoloki // Nauka i molodezh': problemy, poiski, resheniya: vseros. nauch. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh. Vyp. 19. Ch. 2. — Novokuzneck: SibGIU, 2015. — S. 221–223: [sajt] — URL: <https://library.sibsiu.ru/LibrPublicationSectionsPublicationsFilesDownload.asp?lngSection=65&lngPublication=208&lngFile=221&strParent=LibrPublicationsSectionsPublicationsFiles> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [6] Il'yashchenko D.P., Vasil'ev V.I., Brunov O.G. i dr. Vliyaniye dvizheniya svarochnoy provoloki na stabil'nost' processa svarki // Internet-zhurnal «Naukovedenie». — 2014 (20). — Vyp. 1, yanvar' - fevral'. — S. 1–9: [sajt] — URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/78TVN114.pdf> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [7] Krampit A.G. Formirovaniye shva v shchelevoj razdelke pri impul'sno-dugovoy svarkе plavyashchimsya elektrodom v zashchitnykh gazakh: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.02.10. — Rostov-na-Donu, 2013. — URL: <https://www.dissercat.com/content/formirovaniye-shva-v-shchelevoi-razdelke-pri-impulsno-dugovoi-svarke-plavyashchimsya-elektrod> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [8] Krampit N.Yu., Krampit A.G. Sposob i ustroystvo dlya impul'sno-dugovoy svarki plavyashchimsya elektrodom v srede zashchitnykh gazov // Vestn. Mosk. gos. tekhn. un-ta im. N.E. Bauman. Ser. «Mashinostroeniye». — 2014. — № 2 (95). — S. 114–121: [sajt] — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-i-ustroystvo-dlya-impulsno-dugovoy-svarki-plavyaschimsya-elektrodom-v-srede-zaschitnykh-gazov> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [9] Nizamov R.A. Analiz struktury i svoystv svarochnykh provolok marok Sv-08G2S i OKAristoRod // Nauka v dvizhenii: ot otrazheniya k sozdaniyu real'nosti: materialy II Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. — M., 2017. — S. 149–153.
- [10] Novikov D.K. Harakteristiki kontaktnykh nakonechnikov dlya mekhanizirovannoy svarki v zashchitnykh gazakh // Progressivnyye tekhnologii i ekonomika v mashinostroenii: sb. trudov VI Vseros. nauch.-prakt. konf. dlya studentov i uchashcheysya molodezhi, 9–11 aprelya 2015 g. — Yurga — Tomsk: TPU, 2015. — S. 86–88: [sajt] — URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/17829/1/conference_tpu-2015-C57-029.pdf (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [11] Ovchinnikov V.V. Sovremennyye vidy svarki. — M.: Izd. centr «Akademiya», 2016. — 208 s. — URL: https://urpc.ru/student/pechatnie_izdaniya/008_705214216_Ovchinnikov.pdf (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [12] Mazur M., Ulewicz R., Bokuvka O. The impact of welding wire on the mechanical properties of welded joints // Materiálové Inzinierstvo. — 2014. — Vol. 21. — № 3. — P. 122–128: [sajt] — URL: <https://scholar.archive.org/work/pcvvjjsfva6pb5ppdgw6mx3ti/access/wayback/http://ojs.mateng.sk/index.php/Mateng/article/view/File/153/197> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- [13] Üstündağ Ö., Avilov V., Gumenyuk A. et al. Improvement of filler wire dilution using external oscillating magnetic field at full penetration hybrid laser-arc welding of thick materials // Metals. — 2019. — Vol. 9. — P. 1–10: [sajt] — URL: <https://www.mdpi.com/2075-4701/9/5/594/pdf?version=1558609663> (data obrashcheniya: 16.07.2024).
- Статья поступила в редакцию 23.07.2024.
Опубликована 30.09.2024.
- Malykh Nikolay V.**
Postgraduate Student at UrFU EVRAZ Steel Building LLC,
Quality Director, Moscow, Russian Federation
e-mail: Nick-malyh@mail.ru
- Belyaeva Zoya V.**
Candidate of Technical Sciences, Ural Federal University
(UrFU), Institute of Civil Engineering and Architecture, Head
of Department, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: z.v.believa@urfu.ru
ORCID ID: 0000-0001-7807-7102