
ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ

REDUCTION OF ADVANCES IN SCIENCE TO PRACTICE

Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 117–125.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2022; (6): 117–125.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 624.014.2:693.814.25

DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-117-125

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНОГО ШВА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Виталий Валентинович Зверев¹, Виктор Анатольевич Носов²,
Константин Евгеньевич Жидков¹, Илья Викторович Носов²

¹Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия

²ООО «Чугунспецстрой», Липецк, Россия

Аннотация. В работе исследуется свариваемость оцинкованного профиля, влияние цинкового покрытия на формирование сварного шва и его качество. Показано, что пары цинка препятствуют переносу металла в дуге, увеличивают разбрызгивание электродного металла до 40 %. Даны рекомендации по выбору режимов и техники сварки для обеспечения устойчивого процесса формирования шва, подобраны оптимальные характеристики осуществления процесса сварки. Установлено, что сварка углом назад обеспечивает лучший обзор сварочной ванны, снижает разбрызгивание, но сильно зависит от угла наклона электрода. При определенных режимах возможен подсос воздуха и повышение пористости металла шва. Оптимальный угол наклона составляет 60–75°. Отмечено положительное влияние на качество формирования шва увеличения сварочного тока до 160–200 А и расхода газовой смеси до 25–30 л/мин.

Ключевые слова: цинковое покрытие, строительные конструкции, механизированная сварка, режимы сварки, разбрызгивание электродного металла

Для цитирования: Зверев В.В., Носов В.А., Жидков К.Е., Носов И.В. Влияние цинкового покрытия на формирование сварного шва при изготовлении стальных конструкций // Известия вузов. Строительство. 2022. № 6. С. 117–125. DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-117-125.

Original article

THE INFLUENCE OF ZINC COATING ON THE FORMATION OF THE WELD IN THE MANUFACTURE OF STEEL STRUCTURES

Vitaliy V. Zverev¹, Viktor A. Nosov², Konstantin E. Zhidkov¹, Ilya V. Nosov²

¹Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia

²LLC "Chugunspetsstroy", Lipetsk, Russia

Abstract. In the present work, the weldability of the galvanized profile, the influence of the zinc coating on the formation of the weld and on its quality are investigated. It is shown that zinc vapors prevent metal transfer in the arc, increase the spraying of the electrode metal by up to 40 %. Recommendations are given on the choice of welding modes and techniques to ensure a stable seam formation process, optimal characteristics of the welding process are selected. It was found that welding with a backward angle provides a better view of the welding bath, reduces splashing, but strongly depends on the angle of inclination of the electrode. Under certain conditions, it is possible to suck air and increase the porosity of the seam metal. The optimal angle of inclination is 60–75°. A positive effect on the quality of seam formation was noted by increasing the welding current to 160–200 A and the gas mixture flow rate to 25–30 l/min.

Keywords: zinc coating, building structures, mechanized welding, welding modes, spraying of electrode metal

For citation: Zverev V.V., Nosov V.A., Zhidkov K.E., Nosov I.V. The influence of zinc coating on the formation of the weld in the manufacture of steel structures. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2022; (6): 117–125. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2022-762-6-117-125.

1. Введение. Качество антикоррозийной обработки оказывает значительное влияние на долговечность и эксплуатационную надежность строительных конструкций. Наиболее распространенным способом защиты является применение лакокрасочных или цинковых покрытий. Учитывая, что большое количество строительных конструкций эксплуатируется в условиях агрессивных сред, вопросы защиты от коррозии становятся все более актуальными и экономически значимыми. Средний срок службы лакокрасочных покрытий составляет 5–10 лет и требует периодического восстановления. Применение цинковых покрытий позволяет на протяжении всего жизненного цикла конструкций обеспечивать требуемую защиту от коррозии [1].

Вместе с тем стоимость цинкового покрытия значительно выше лакокрасочного. Кроме того, наличие на поверхности цинка создает значительные сложности при выполнении сварных соединений элементов, что приводит к более широкому применению нагельных соединений (болты, самонарезающие винты, заклепки) [2, 3].

Основными проблемами свариваемости металлопроката с защитным цинковым покрытием являются интенсивное испарение цинка в зоне действия сварочной дуги и возможное появление неметаллических включений (оксида цинка) в металле шва [4]. Вопросам свариваемости оцинкованной стали посвящено относительно небольшое количество публикаций. Исследования различных физических процессов сварки оцинкованной стали представлены в работах [5–7]. Однако воспользоваться результатами этих иссле-

дований затруднительно по причине отсутствия практических рекомендаций. Известные работы, связанные с исследованиями технологических особенностей сварки по цинку [8–10], рассматривают только контактную сварку, а публикация [11] предлагает применение метода с пониженной прочностью металла шва. Таким образом, для получения практических рекомендаций по возможности использования наиболее технологичной в монтажных условиях сварки плавлением оцинкованных металлоконструкций требуются дополнительные исследования.

Из анализа работы [4] следует, что при интенсивном испарении цинка в зоне действия сварочной дуги его пары препятствуют переносу электродного металла, увеличивают разбрызгивание и, как следствие, могут существенно повлиять на форму и качество сварного шва. Для решения данной проблемы рекомендуется использовать полуавтоматическую сварку с инверторным источником питания, обеспечивающим более стабильный режим работы сварочной дуги. В качестве защитного газа предлагается газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO₂. Газовая смесь с таким соотношением инертного аргона и активного углекислого газа необходима для стабилизации горения сварочной дуги, улучшения процессов переноса электродного металла и лучшего формирования сварного шва.

2. Материалы и методы исследования. Исследования проводились на образцах стального профиля с заводским покрытием, выполненным методом горячего цинкования: горячекатаный стальной швеллер № 12У (ГОСТ 8240–97) и уголок стальной горячекатаный равнополочный L60×6 мм (ГОСТ 8509–93) (рис. 1).

Сварка выполнялась методом MIG/MAG – механизированной сваркой в газовой смеси проволокой сплошного сечения Св08Г2С Ø1,2 мм омедненная, газовая смесь 82 % Ar + 18 % CO₂. Данный метод является оптимальным для сварки металлоконструкций, благодаря высокой производительности и возможности влияния на формирование шва за счет широкого спектра настройки режимов работы сварочного оборудования. Для выполнения работ применялся сварочный полуавтомат High PULSE 280 K (производства Merkle). Для удаления сварочных аэрозолей и паров цинка использовалась локальная вытяжная система модели «СовПлим» (рис. 2).

3. Результаты и обсуждение. Работа выполнена на производственной базе ООО «Чугунспецстрой». Исследования проводились методом наплавки валика на поверхность оцинкованного профиля в нижнем положении при следующих контролируемых параметрах: сварочный ток – 120–210 А; расход

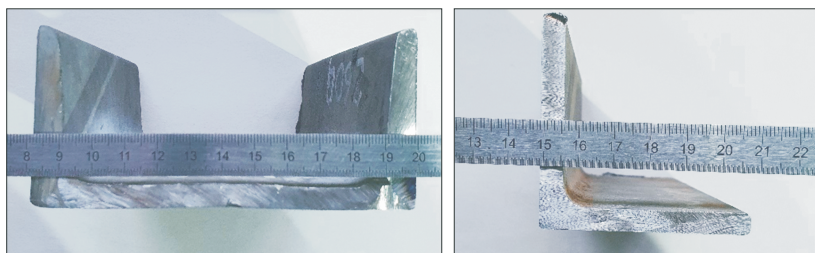


Рис. 1. Общий вид образцов
Fig. 1. General view of samples



Рис. 2. Сварочный полуавтомат инверторного типа и локальная система очистки воздуха

Fig. 2. Welding semi-automatic inverter type and local air purification system

газовой смеси – 14–30 л/мин; угол наклона горелки – 45–80°; техника сварки – углом вперед и углом назад.

Оценивались стабильность процесса плавления и переноса электродного металла, качество формы наплавленного валика, наличие сварочных дефектов. Дополнительно определялись фактические потери электродного металла на разбрызгивание, как разница массы бухты с проволокой и массы образца оцинкованного профиля до наплавки и массы бухты и массы образца после наплавки валика.

В результате серии экспериментов выявлены следующие особенности и закономерности.

Под действием высокой температуры сварочной дуги цинковое покрытие интенсивно испаряется. Продукты испарения существенно ухудшают обзор сварочной ванны и усложняют задачу сварщика по формированию шва



Рис. 3. Затрудненный обзор сварочной ванны продуктами горения цинкового покрытия

Fig. 3. Difficult view of the weld pool by combustion products of the zinc coating

(рис. 3). При сварке стали без цинкового покрытия для качественной газовой защиты и хорошего обзора сварочной ванны оптимальным является угол наклона горелки 70–80°. При сварке по цинковому покрытию, если угол наклона горелки удерживать 80°, обзор сварочной ванны полностью отсутствует. Одновременно происходит интенсивный засор мундштука горелки брызгами расплавленного металла.

Уменьшение угла наклона горелки с 80 до 45° при нормальном расходе защитного газа 14–20 л/мин улучшает удаление продуктов горения цинка (сдувает пары) и обзор свароч-

ной ванны. Но при этом создается опасность подсоса воздуха, ухудшения защиты сварочной ванны, формирования пористого шва (рис. 4).

Повышение расхода газовой смеси до 25–30 л/мин при наклоне горелки 60–75° существенно улучшает обзор сварочной ванны и обеспечивает хорошую защиту сварочной ванны. Увеличенный расход защитного газа полностью предотвращает засорение мундштука горелки брызгами металла.

Установлено положительное влияние увеличения силы сварочного тока на стабильность процесса сварки. Эксперимент производился на сварочном токе 120, 160 и 200 А. При сварке на 120 А процесс переноса электродного металла неустойчивый, формирование шва неравномерное. На малом токе недостаточно мощности сварочной дуги для противодействия вредному влиянию испаряющегося цинка. Увеличение силы тока до 160 А и более стабилизирует все сварочные процессы.

Под действием паров цинка ухудшается равномерность отрыва капли электродного металла с торца электрода и перенос в сварочную ванну. Пары цинка препятствуют отрыву капли, удерживая ее на торце электрода. При определенных условиях сила, возникающая от испарения цинка, выбрасывает каплю жидкого металла за пределы сварочной ванны. Таким образом, возникает повышенное разбрызгивание электродного металла. На фотографиях (рис. 5, а) зафиксирован момент, на котором капля расплавленного металла

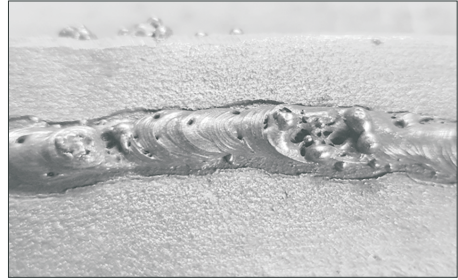


Рис. 4. Пористость шва, образовавшаяся при наклоне горелки 45°

Fig. 4. The porosity of the seam formed when the burner is tilted 45°

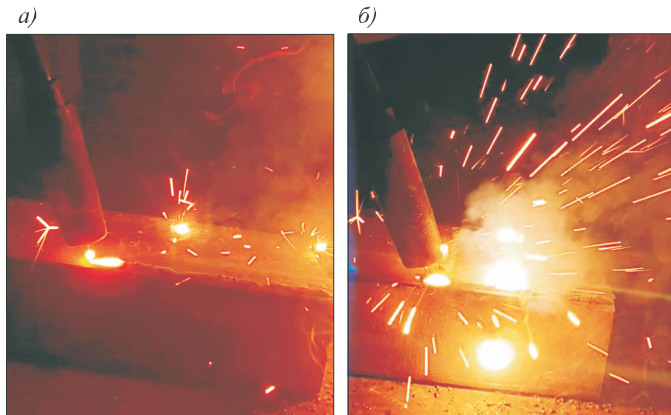


Рис. 5. Разбрызгивание электродного металла при сварке оцинкованного профиля

а – образование крупной капли на торце электрода; б – выплеск металла при переходе крупной капли в сварочную ванну

Fig. 5. Splashing of the electrode metal during welding of a galvanized profile

а – the formation of a large drop at the end of the electrode; б – splash of metal during the transition of a large drop into the weld pool

Влияние техники сварки на разбрызгивание металла

Influence of welding technique on metal splashing

Техника сварки	Взвешивание	Масса бухты с проволокой, кг	Масса оцинкованной детали, кг	Потери на разбрызгивание, г/%
Углом вперед	Перед сваркой	10,246	2,560	
	После сварки	10,206	2,584	
Итого:		-0,04	+0,024	16/40
Углом назад	Перед сваркой	10,206	2,572	
	После сварки	10,166	2,604	
Итого:		-0,04	+0,032	8/20

диаметром около 5 мм удерживается на торце электрода. На следующем изображении (рис. 5, б) выплеск металла (разбрызгивание) при переходе крупной капли в сварочную ванну.

Фактическое разбрызгивание электродного металла определялось в ходе эксперимента по оценке влияния техники сварки углом вперед и углом назад (используется для управления глубиной проплавления и шириной сварного шва). Эксперимент производился с изменением только техники сварки и сохранением всех прочих параметров: сварочный ток 200 А, напряжение на дуге 22–24 В, расход газовой смеси 30 л/мин, скорость сварки 0,23–0,25 м/мин. Результат эксперимента по разбрызгиванию представлен в таблице.

Установлено, что разбрызгивание электродного металла при сварке углом вперед составляет 40 %, при сварке углом назад – 20. При сварке без цинкового покрытия потери электродного металла не превышают 5 %. Полученные значения в обоих случаях недопустимо большие.

Экспериментом установлено, что при сварке углом вперед пары цинка оказывают значительно большее негативное воздействие на сварочные процессы. Неравномерный и неконтролируемый перенос электродного металла и полное отсутствие обзора сварочной ванны при сварке углом вперед не позволяют сформировать качественный шов (рис. 6).

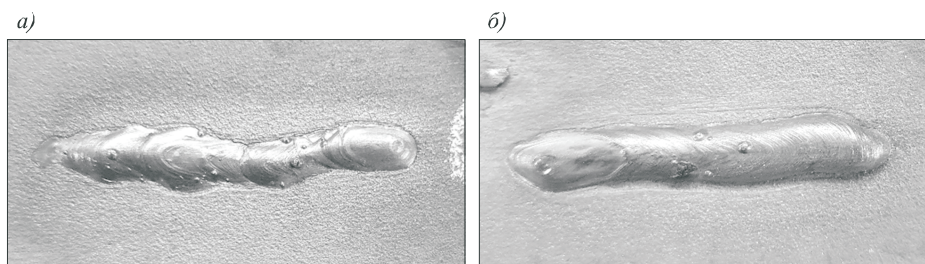


Рис. 6. Внешний вид наплавленного валика на оцинкованную поверхность стального профиля при различной технике сварки

а – углом вперед; б – углом назад

Fig. 6. The appearance of the deposited roller on the galvanized surface of the steel profile with various welding techniques

a – forward angle; b – backward angle

4. Выводы. 1. Независимо от режимов и техники сварки не удалось получить разбрызгивание электродного металла менее 20 %. При некоторых режимах разбрызгивание может превышать 40 %.

2. Пары цинка при определенных условиях полностью закрывают обзор сварочной ванны и существенно затрудняют управление формированием шва.

3. Для лучшего удаления паров цинка из зоны сварочной ванны и обеспечения обзора требуется держать горелку под углом 60–75°.

4. Уменьшение угла наклона улучшает обзор сварочной ванны, но может привести к подосу воздуха и пористости шва.

5. Для лучшего удаления паров цинка и для предотвращения налипания брызг металла на мундштук горелки требуется расход защитного газа увеличить до 25–30 л/мин.

6. Для устойчивого процесса формирования шва требуется примерно на 25 % большая сила сварочного тока относительно рекомендованных для сварки стали без покрытия.

7. Часто применяемая техника сварки углом вперед недопустима из-за полного отсутствия обзора сварочной ванны.

8. Результаты исследования представляют практический интерес для производителей стальных строительных конструкций с цинковым покрытием.

Список источников

1. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / под ред. И.В. Семеновой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 336 с.
2. Зверев В.В., Жидков К.Е., Сотникова И.В. Каркасы зданий из легких металлических конструкций // Научное развитие технологий и инновации: Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова, XXI научные чтения. Белгород. 2014. С. 20–24.
3. Жидков К.Е., Зверев В.В., Семенов А.С., Стуканев Ю.Л. Повышение несущей способности узловых соединений конструктивных элементов ферм // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2015. № 4. С. 88–90.
4. Шатов А.П., Стеклов О.И., Ступников В.П. Сварка и ремонт металлических конструкций по противокоррозионным покрытиям. 2-е изд. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э. Баумана, 2014. 152 с.
5. Лупачев А.В. Физическая модель перехода капель электродного металла в сварочную ванну при дуговой сварке оцинкованных сталей // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых. Минск, 2009. С. 57.
6. Хуанг Л., Чэнь С., Коновалов С., Ма Х. Формирование и контроль пористости во время лазерной сварки двухфазных оцинкованных сталей dp780 // Металлургия: технологии, инновации, качество: Труды XX Междунар. науч.-практ. конф.: В 2 ч. Новокузнецк, 2017. С. 321–327.
7. Павлюк С.К., Лупачев А.В. Силовое воздействие на капли электродного металла для управления их переходом в сварочную ванну при сварке оцинкованных сталей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. 2010. № 2. С. 115–123.
8. Вакатов А.В. Особенности формирования сварных соединений при контактной точечной сварке оцинкованной стали // Сварочное производство. 2001. № 2. С. 20–21.

9. *Пиетрас А.* Точечная сварка оцинкованных листовых материалов в серийном производстве. Сварка и родственные технологии // Мировой опыт и достижения: Материалы II Междунар. симп. Минск, 2001. С. 63–71.
10. *Емельянов С.Н., Попковский В.А.* О выборе параметров технологического процесса контактной точечной сварки оцинкованных сталей // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Могилев, 2014. С. 183–184.
11. *Павлюк С.К., Лупачев А.В., Цумарев Ю.А.* Закономерности процесса повреждения и разрушения цинкового покрытия на стали при сварке плавлением и дуговой пайке // Вестник Белорусско-Российского университета. 2008. № 2. С. 76–84.

References

1. *Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.V.* Corrosion and corrosion protection. Moscow, 2002. 336 p. (In Russ.).
2. *Zverev V.V., Zhidkov K.E., Sotnikova I.V.* Building frames made of light metal structures. High-tech technologies and innovations. Jubilee International Scientific and Practical Conference dedicated to the 60th anniversary of V.G. Shukhov BSTU, XXI scientific readings. Belgorod, 2014. P. 20–24. (In Russ.).
3. *Zhidkov K.E., Zverev V.V., Semenov A.S., Stukanev Yu.L.* Increasing the bearing capacity of nodal joints of structural elements of farms. *Akademicheskii vestnik UralNIiproekt RAASN = Academic Bulletin of UralNIiproekt RAASN*. 2015; (4): 88–90. (In Russ.).
4. *Shatov A.P., Steklov O.I., Stupnikov V.P.* Welding and repair of metal structures on anticorrosive coatings. Moscow: Bauman Moscow State Technical University (National Research University), 2014. 152 p. (In Russ.).
5. *Lupachev A.V.* Physical model of the transition of an electrode metal with a cooking bath during arc welding of galvanized steels. New materials, equipment and technologies in industry. Minsk, 2009. P. 57. (In Russ.).
6. *Huang L., Chen S., Kononov S., Ma H.* Formation and control of porosity during laser welding of dp780 two-phase galvanized steels. Metallurgy: technologies, innovations, quality. Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference: in 2 parts. Novokuznetsk, 2017. P. 321–327. (In Russ.).
7. *Pavlyuk S.K., Lupachev A.V.* Force action on droplets of electrode metal to control their transition to the welding bath during welding of galvanized steel. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya B. Promyshlennost'. Prikladnyye nauki = Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied sciences*. 2010; (2): 115–123. (In Russ.).
8. *Vakatov A.V.* Features of the formation of welded joints during contact spot welding of galvanized steel. *Svarochnoye proizvodstvo = Welding production*. 2001; (2): 20–21. (In Russ.).
9. *Pietras A.* Spot welding of galvanized sheet materials in serial production. Welding and related technologies. World experience and achievements: Materials of the II International. simp. Minsk, 2001. P. 63–71. (In Russ.).
10. *Emelyanov S.N., Popkovsky V.A.* On the choice of parameters of the technological process of contact spot welding of galvanized steels. Materials, equipment and resource-saving technologies. Materials of the international scientific and technical conference. Mogilev, 2014. P. 183–184. (In Russ.).
11. *Pavlyuk S.K., Lupachev A.V., Tsumarev Yu.A.* Regularities of the process of damage and destruction of zinc coating on steel during fusion welding and arc soldering. *Vestnik Belorussko-Rossiyskogo universiteta = Bulletin of the Belarusian-Russian University*. 2008; (2): 76–84. (In Russ.).

Информация об авторах

В.В. Зверев – доктор технических наук, профессор, 334055@bk.ru, zverev2901@gmail.com

В.А. Носов – директор ООО «Чугунспецстрой»

К.Е. Жидков – кандидат технических наук, доцент

И.В. Носов – инженер ООО «Чугунспецстрой»

Information about the authors

V.V. Zverev – DSc, Professor, 334055@bk.ru, zverev2901@gmail.com

V.A. Nosov – Director of LLC «Chugunspetsstroy»

K.E. Zhidkov – PhD, Ass. Professor

I.V. Nosov – Engineer of LLC «Chugunspetsstroy»

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 10.05.2022
Одобрена после рецензирования 02.06.2022
Принята к публикации 09.06.2022

The article was submitted 10.05.2022
Approved after reviewing 02.06.2022
Accepted for publication 09.06.2022

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Статья представляется в редакцию *на русском языке в электронном виде*. Зарубежные авторы могут присылать статьи *на английском языке*. Возможна публикация статьи одновременно в двух вариантах – на русском и английском языках. В этом случае оформляются два текста статьи – на русском языке и точный перевод на английский. Вместе с рукописью представляются:

- *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;
- *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от XP до Word 97/10). Текст набирают шрифтом Times New Roman Суг размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5. Обязательна нумерация страниц внизу посередине. Объем рукописи – до 12 страниц, включая иллюстрации, таблицы, список источников и информацию об авторах.

3. Состав рукописи статьи, правила и образец оформления см. на Internet-сайте журнала http://izvuzstr.sibstrin.ru/sample_of_article/

а) русскоязычная часть:

- индекс УДК – в левом верхнем углу, прописными буквами;
- имя, отчество и фамилии авторов, наименование учреждения, в котором они работают;
- название статьи;
- аннотация объемом до 0,3 стр. текста (не менее 80 слов);
- ключевые слова (не менее 5);
- текст статьи;
- список источников (не менее 10 ссылок);
- информация об авторах: последовательно для каждого – инициалы, фамилия, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), e-mail автора, страна (если не Российская Федерация);

б) англоязычная часть:

- список источников оформлять по системе BGN:
- для зарубежных источников на латинице – с сохранением оригинального описания;
- для ссылок на русскоязычные источники – транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов, название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, – , // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце (In Russ.).
- информация об авторах – последовательно для каждого:
- фамилия, имя полностью, транслитерированные в латинские символы по системе BGN;
- ученая степень (DSc – доктор наук, PhD – кандидат наук, MSc – магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Mem. of... – профессор, доцент, академик ..., член-корреспондент ...), другое – Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
- официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;

4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению, доработанную после рецензии статью следует присылать в электронном виде.

6. Корректурa статьи может предоставляться по запросу автора.

7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.

8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики и контактная информация. Электронная версия обязательна.

9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.