

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ И ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗДАНИЙ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 620.174

DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.6-27

Первый в Российской Федерации автодорожный мост из алюминиевых сплавов

Андрей Валентинович Коргин¹, Евгений Васильевич Васильев²,
Олег Геннадьевич Маслов²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

² Алюминиевая ассоциация; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время конструкции из современных алюминиевых сплавов находят все большее применение практически во всех сферах промышленного и строительного производства, что является следствием уникальных физико-механических свойств алюминиевых сплавов, позволяющих создавать эффективные по весовым, прочностным и эстетическим параметрам конструкции разнообразного назначения, обладающие при этом повышенной коррозионной стойкостью по сравнению со стальными конструкциями. Сочетание подобных уникальных свойств алюминиевых сплавов оказалось востребованным во многих областях строительства и, в частности, в мостостроении, изначально при строительстве пешеходных мостов, а в последнее время и при возведении автодорожных мостов. Наличие в мировой и отечественной строительной практике многочисленных примеров уже построенных и эксплуатируемых мостов доказало их очевидные преимущества в плане технологичности и скорости строительства и практического отсутствия проблем в ходе эксплуатации, что послужило стимулом для расширяющегося применения алюминиевых сплавов для строительства автодорожных мостов.

Материалы и методы. Данная тенденция не обошла стороной Россию, и к декабрю 2023 г. по инициативе Алюминиевой Ассоциации и ОК РУСАЛ, государственному заказу Правительства Нижегородской области был спроектирован, построен и введен в эксплуатацию первый в РФ автодорожный мост через р. Линда. Мост двухполосный, 4-пролетный, длиной 72 м, на железобетонных опорах, пролетное строение целиком выполнено из алюминиевых сплавов.

Результаты. Строительству предшествовал длительный (с 2016 г.) этап научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, результаты которого послужили основой оптимального выбора марок алюминиевых сплавов, технологий производства и методов проектирования этого моста. НИУ МГСУ является ведущей организацией, которая при участии ряда других организаций успешно провела данный этап.

Выводы. Автодорожный мост из алюминиевых сплавов через р. Линда в Нижегородской области введен в эксплуатацию в декабре 2023 г. На мосту будет установлена автоматизированная система мониторинга, позволяющая осуществлять дистанционный контроль технического состояния моста в непрерывном режиме.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автодорожный мост, алюминиевый сплав, сварка трением с перемешиванием, растяжение, срез, напряжение, прочность, разрушение, метод конечных элементов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Коргин А.В., Васильев Е.В., Маслов О.Г. Первый в Российской Федерации автодорожный мост из алюминиевых сплавов // Строительство: наука и образование. 2024. Т. 14. Вып. 3. С. 6–27. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.6-27

Автор, ответственный за переписку: Андрей Валентинович Коргин, korguine@mgsu.ru, anvakorg@gmail.com.

The first aluminium alloy road bridge in Russia

Andrey V. Korgin¹, Evgeny V. Vasiliev², Oleg G. Maslov²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

² Aluminum Association; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Nowadays, structures made of modern aluminium alloys are increasingly used in almost all areas of industrial and construction production, which is a consequence of the unique physical and mechanical properties of aluminium alloys, which make it possible to create structures of various purposes that are effective in weight, strength and aesthetic parameters, while having increased corrosion resistance compared with steel structures. Combinations of such unique properties of aluminium alloys have proved to be extremely in demand in many areas of construction and, in particular, in bridge construction, initially in the construction of a wide variety of pedestrian bridges, and more recently, more often in the construction of road bridges. The presence of numerous examples of already built and operated bridges in the world and domestic construction practice proved their obvious advantages in terms of manufacturability and speed of construction and the practical absence of problems during operation, which served as an incentive for the increasingly expanding use of aluminium alloys for the construction of road bridges.

Materials and methods. This trend did not bypass Russia, and by December 2023, on the initiative of the Aluminum Association and UC RUSAL, the state order of the Government of the Nizhny Novgorod Region, the first road bridge in the Russian Federation across the river was designed, built and put into operation. Linda. The bridge is two-lane, 4-span, 72 m long, on reinforced concrete supports, the superstructure is entirely made of aluminium alloys.

Results. This construction was preceded by a long (since 2016) stage of research and development (R&D), the results of which served as the basis for the optimal choice of aluminium alloy grades, production technologies and design methods for this bridge. NRU MGSU is a leading organisation, which, with the participation of a number of other organisations, successfully carried out this stage.

Conclusions. The aluminium alloy road bridge over the Linda River in the Nizhny Novgorod Region was commissioned in December 2023. An automated monitoring system will be installed on the bridge, allowing remote monitoring of the technical condition of the bridge in continuous mode.

KEYWORDS: road bridge, aluminium alloy, friction welding with mixing, stretching, shear, stress, strength, fracture, finite element method

FOR CITATION: Korgin A.V., Vasiliev E.V., Maslov O.G. The first aluminium alloy road bridge in Russia. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2024; 14(3):6-27. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2024.3.6-27

Corresponding author: Andrey V. Korgin, korguine@mgsu.ru, anvakorg@gmail.com.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в экономике многих стран мира, включая Россию, в связи с ростом количества автотранспорта, его грузоподъемности и интенсивности использования наблюдается устойчивая тенденция роста объемов дорожного строительства и реконструкции существующей дорожной инфраструктуры, в том числе мостов и путепроводов. В целях экономической целесообразности и сроков сокращения строительства наряду с использованием традиционных решений мостовых сооружений из стали и железобетона имеет место расширяющееся применение новых для мостостроения материалов, таких как алюминиевые сплавы и полимерные материалы¹ [1].

Мостовые сооружения из современных алюминиевых сплавов находят все большее применение при строительстве и реконструкции дорожной инфраструктуры, что является следствием уникальных физико-механических свойств алюминиевых сплавов, позволяющих создавать эффективные по весовым, прочностным и эстетическим параметрам элементы мостовых конструкций, обладающих при этом повышенной коррозионной стойкостью по сравнению со стальными конструкциями. Сочетание подобных уникальных свойств алюминиевых сплавов оказалось востребованным в мостостроении изначально при строительстве самых разно-

образных пешеходных мостов, а в последнее время и при возведении автодорожных мостов [2, 3].

Наличие в мировой и отечественной практике мостостроения многочисленных примеров уже построенных и эксплуатируемых мостов доказало их очевидные преимущества в плане технологичности, скорости строительства и практического отсутствия проблем при эксплуатации, что служит стимулом для расширяющегося использования алюминиевых сплавов для строительства автодорожных мостов.

В качестве наиболее известных примеров в мировой мостостроительной практике следует отметить построенный в 1950 г. автодорожный мост Arvida Bridge в канадской провинции Квебек пролетом 88,4 м (рис. 1); автодорожный мост Forsmo, построенный в 1995 г. в Норвегии, пролетом 39 м (рис. 2); и ряд других, построенных в северной Америке, Европе и Китае мостов^{2,3} [4–9].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Строительство автодорожного моста из алюминиевых сплавов через р. Линда в Нижегородской области

Цели, задачи и этапы проекта. В 2016 г. НИУ МГСУ по заказу АО «РУСАЛ ТД» начал научно-ис-

² Алюминиевые мосты за рубежом. 2014. URL: www.aluminium-guide.ru

³ Road and pedestrian bridges in aluminium. Executive Summary, Report on visits to Sweden, Holland, and the United States // Aluminium Association of Canada. 2015.

¹ Применение алюминия в мостостроении // Алюминиевая Ассоциация. 2016. URL: www.aluminas.ru



Рис. 1. Мост Arvida Bridge, канадская провинция Квебек, центральный пролет 88,4 м



Рис. 2. Мост Forsmo в Норвегии, пролет 39 м

следовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) по строительству мостов из алюминиевых сплавов, и к декабрю 2023 г. на основе результатов исследований по инициативе Алюминиевой ассоциации и Правительства Нижегородской области был спроектирован, построен и введен в эксплуатацию первый в РФ автодорожный мост через р. Линда. Мост — двухполосный, 4-пролетный, длина 72 м⁴ (рис. 3, 4).

Научно-исследовательские изыскания. Строительству моста предшествовал длительный этап НИОКР (с 2016 г.), целью которого был оптимальный выбор марок алюминиевых сплавов, технологий производства и методов проектирования мостов из алюминиевых сплавов. НИУ МГСУ при участии ряда организаций успешно осуществил эту работу, в ходе которой проведены лабораторные и натурные испытания по определению прочностных, усталост-

ных и коррозионных свойств, химического состава, свариваемости и ударной вязкости наиболее перспективных для мостостроения сплавов⁵ (рис. 5, 6) [10].

Конечной целью НИОКР являлась разработка на основании полученных результатов нормативного документа — Свода правил по проектированию мостов и алюминиевых сплавов, который был разработан НИУ МГСУ и утвержден Минстроем России в 2019 г. в редакции для пешеходных мостов под наименованием СП 443.1325800.2019 «Мосты с конструкциями из алюминиевых сплавов. Правила проектирования» [11].

Распространение сферы действия СП 443 на проектирование автодорожных мостов потребовало проведения дополнительной фазы НИОКР с расширенной программой по исследованию работы конструктивных элементов мостовых сооружений, выполненных из рассмотренных марок алюминиевых сплавов.

⁴ Первый в России автодорожный мост из алюминиевых сплавов // Вестник Алюминиевой ассоциации. 2024. № 1 (79).

⁵ СП 443.1325800.2019. Мосты с конструкциями из алюминиевых сплавов. Правила проектирования.



Рис. 3. Вид на мост со стороны обочины двухполосного шоссе



Рис. 4. Вид на мост сбоку, на заднем плане виден старый однополосный стальной мост

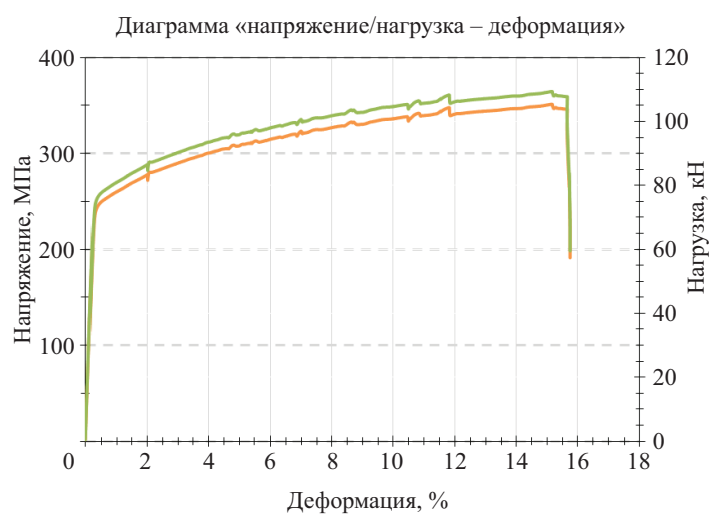
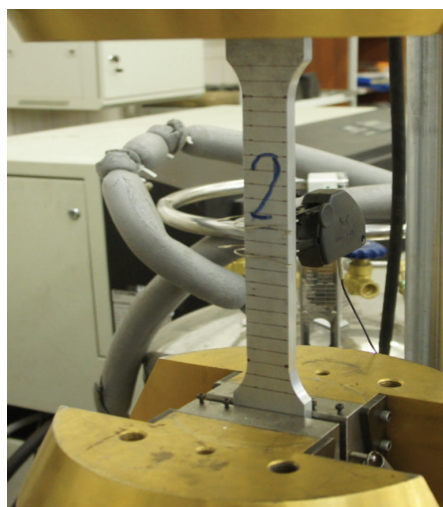


Рис. 5. Вид и результаты статических испытаний образцов сплава 1915Т

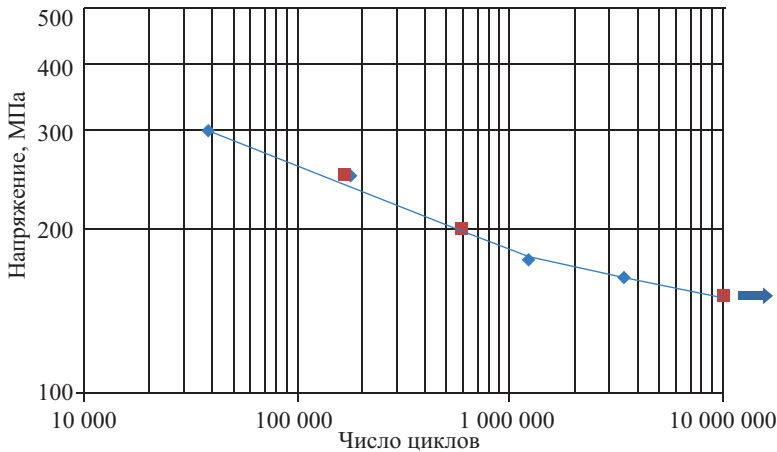


Рис. 6. Вид и результаты усталостных испытаний алюминиевого сплава 1915Т

Ответственным периодом расширенной программы работ для НИУ МГСУ стали впервые проведенные в России разработка, проектирование (рис. 7) и последующие статические и усталостные испытания ортотропных плит из сплава EN AW-6082 Т6, изготовленных предприятиями ЗАО «Сеспель» и ООО «КраМЗ» с использованием инновационных технологий экструдирования конструктивных эле-

ментов из алюминиевых сплавов и сварки трением с перемешиванием (СТП)⁶ (рис. 8, 9) [12–20].

Партия спроектированных НИУ МГСУ с помощью детального метода конечных элементов (МКЭ) моделирования ортотропных плит разрабо-

⁶ Patton G. Aluminum Orthotropic Deck Research Report // Archive Florida Department of Transportation. 2017. 52 p.

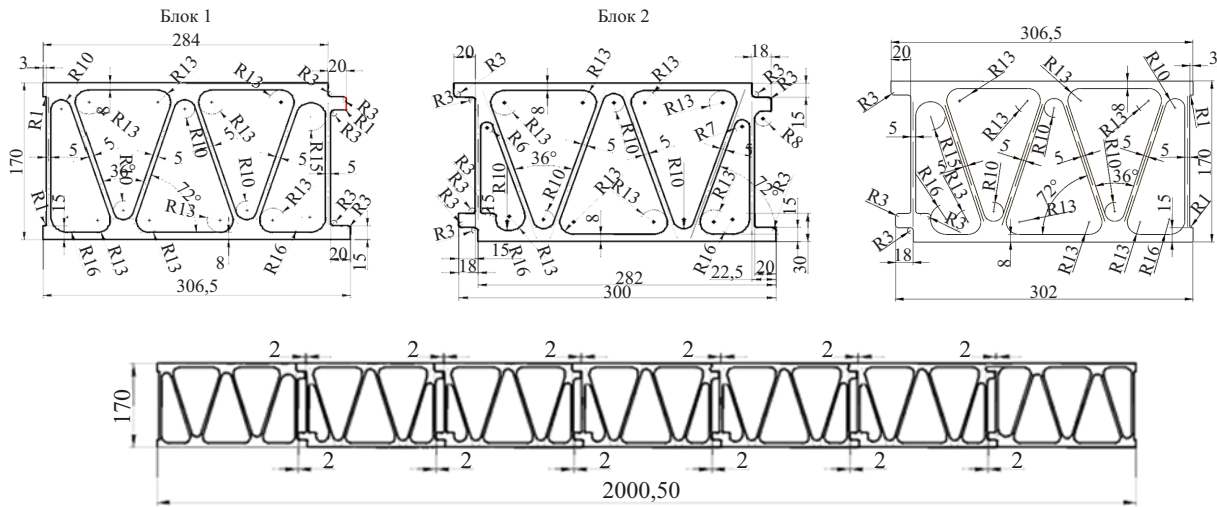


Рис. 7. Схема экструдированных элементов и сваренной ортотропной плиты

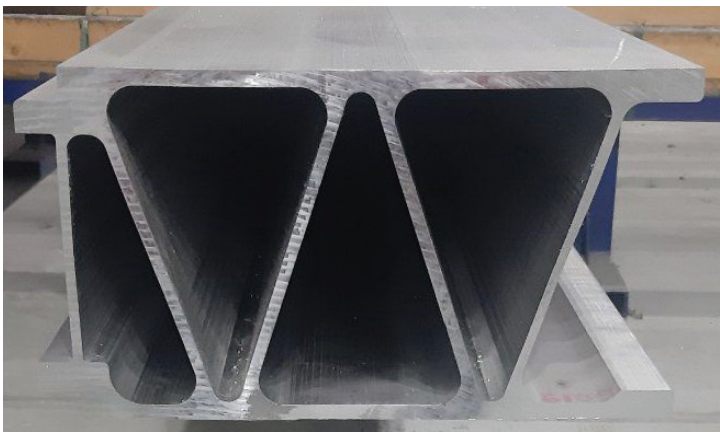


Рис. 8. Экструдированный конструкционный элемент ортотропной плиты



Рис. 9. Сварка на стенде методом трения с перемешиванием ортотропной плиты

танной конструкции подверглась разносторонним статическим и усталостным испытаниям с различными типами дорожного покрытия (рис. 10).

Ответственной частью НИОКР было проведение испытаний на выносливость каркаса реального пешеходного моста пролетом 10 м, выполненного из сплава 1915Т на испытательном стенде НИУ

МГСУ (рис. 11). Цель испытаний — определение усталостного ресурса (числа циклов нагружения до образования усталостных трещин) и сравнение полученных значений с результатами расчетов в соответствии с методикой, разработанной НИУ МГСУ и включенной в состав СП 443.1325800.2019. Полученные результаты расчетов показали хорошее



Рис. 10. Спаренные ортотропные плиты с асфальтобетонным покрытием на испытательном стенде для проведения статических и усталостных испытаний



Рис. 11. Испытания на выносливость несущего каркаса пешеходного моста на испытательном стенде НИУ МГСУ

соответствие с результатами натурных испытаний [14].

Проведенная дополнительная программа НИОКР послужила основой для расширения действия СП 443.1325800.2019 на проектирование автодорожных мостов из алюминиевых сплавов, соответствующая редакция свода правил подготовлена НИУ МГСУ для утверждения в Минстрое РФ, которое ожидает завершения опытного этапа эксплуатации построенного через р. Линда моста в 2025 г.

Проектирование. Генпроектировщик проекта моста — ООО «Ренова-Строй», проектировщик

пролетного строения — ООО «ПИ-2» при активном сопровождении НИУ МГСУ, предоставившего результаты НИОКР в детальном объеме. Для реализации проекта были разработаны специальные технические условия (СТУ), утвержденные Минстроем России.

Основная особенность автодорожных мостов, испытывающих в течение срока эксплуатации (не менее 50 лет) воздействие многомиллионных циклов нагружения от автотранспорта, является главной причиной для расчета на выносливость. НИУ МГСУ разработал программное обеспечение

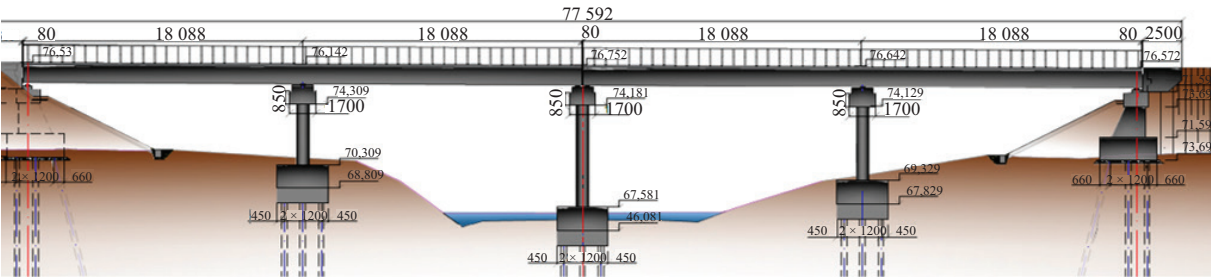


Рис. 12. Общий вид продольного сечения моста

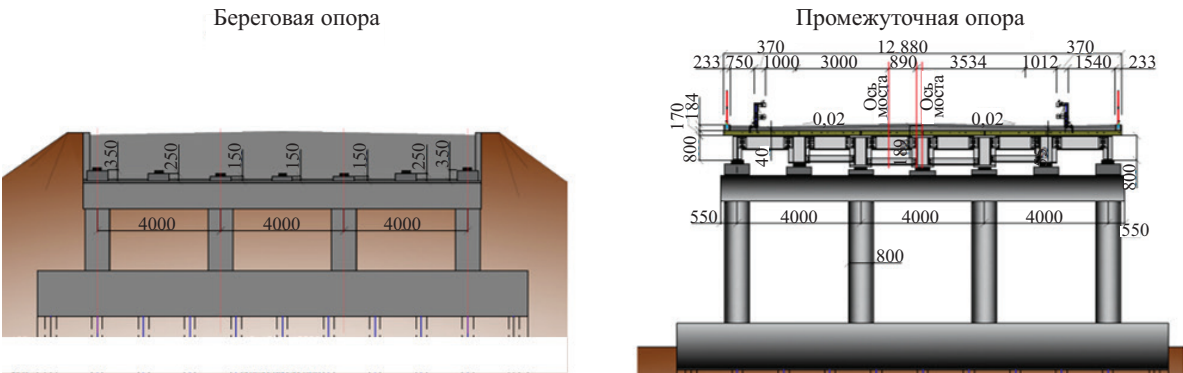


Рис. 13. Вид железобетонных опорных частей моста



Рис. 14. Продольные несущие балки коробчатого сечения

для расчетов на выносливость, которое использовалось проектировщиками для расчетов проектируемого моста на выносливость [15–18].

Ключевые параметры проекта моста представлены на рис. 12, 13.

Пролетное строение — четырехпролетное неразрезное по схеме $(2 \times 18) + (2 \times 18)$. В поперечном сечении располагается 7 главных балок коробчатого сечения из алюминиевого сплава 1565чМ с шагом 2 м, объединенных между собой поперечными балками и системой диагональных (ветровых) связей в уровне верхнего и нижнего поясов (рис. 14).

Несущими конструктивными элементами дорожного полотна являются поперечно расположенные ортотропные плиты размерами $6,44 \times 2,55$ м в количестве $7 \times 2 \times 4 = 56$ шт., выполненные

из алюминиевого сплава EN AW-6082 T6. Мостовое полотно — два слоя литого асфальтобетона общей толщиной 8 см по слою полимерной гидроизоляции.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Производство. Конструкции моста изготавливались на заводе ЗАО «Сеспель» в г. Чебоксары. Соединение листового проката используемых алюминиевых сплавов в конструктивные элементы производилось методом автоматизированной СТП, дающей высококачественные однородные сварные швы, прочность которых сопоставима с прочностью основного металла (рис. 15) [19, 20].

Перед отправкой элементов конструкций на строительную площадку на заводе выполнялась контрольная сборка пролетного строения (рис. 16).

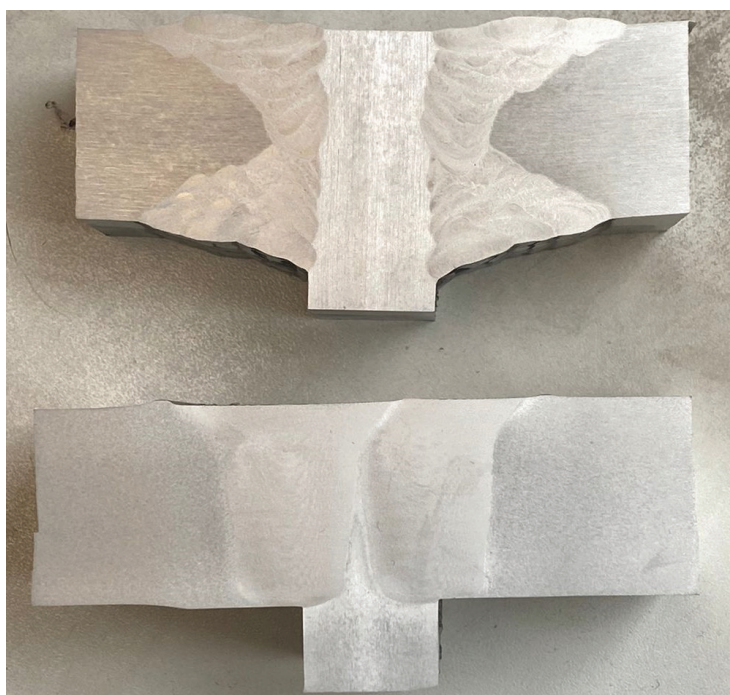


Рис. 15. Сечения сварных швов



Рис. 16. Контрольная сборка элементов пролетного строения на заводе



Рис. 17. Установка пролетного строения на железобетонные опоры



Рис. 18. Установленные несущие балки пролетного строения



Рис. 19. Установка ортотропных плит на несущие балки пролетного строения



Рис. 20. Стальная пружинная вставка соединения алюминиевых элементов стальным болтом

Секции ортотропных плит из сплава EN AW-6082 T6 (рис. 7–9) также соединялись между собой по технологии СТП (см. выше «Научно-исследовательские изыскания»).

Строительство моста осуществлялось ООО «Виадук-М». Контроль за изготовлением пролетных строений на производственной площадке ЗАО ЧП «Сеспель» осуществлялся ООО «Мостовая инспекция» (рис. 16). Строительный контроль выполнял государственный заказчик ГКУ НО «ГУАД» (рис. 17–19).

Основные элементы конструкций пролетного строения из алюминиевых сплавов — продольные

несущие балки, поперечные прогоны, ортотропные плиты (рис. 16) в процессе строительства соединялись между собой с помощью высокопрочных стальных оцинкованных болтов. Непосредственный контакт даже оцинкованной стали с алюминием из-за разности электрохимических потенциалов со временем ведет к образованию в зоне контакта весьма прочного окисного соединения, препятствующего подтяжке и разборке болтового соединения. Во избежание данного явления болтовые соединения дополнялись установкой в отверстиях упругих стальных пружинных вставок, препятствующих контакту



Рис. 21. Трафик по автодорожному мосту из алюминиевых сплавов через реку Линда

стального болта с алюминиевым сплавом и позволяющих осуществлять при необходимости подтяжку болтов и разборку соединений (рис. 20) [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автодорожный мост из алюминиевых сплавов через р. Линда в Нижегородской области введен в эксплуатацию в декабре 2023 г. (рис. 21).

Техническое и эксплуатационное состояние построенного моста подвергается в настоящее время

периодическому мониторингу по установленному графику. Дополнительно планируется установка автоматизированной системы мониторинга, позволяющей осуществлять дистанционный контроль технического состояния моста в непрерывном режиме.

По результатам мониторинга при условиях безаварийной эксплуатации моста в 2025 г. планируется утверждение Минстроем России разработанной НИУ МГСУ редакции СП 443.1325800.2019 для автодорожных мостов из алюминиевых сплавов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бородкина В.В., Рыжкова О.В., Улас Ю.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 12–1. С. 72–77. EDN VRUWEK.

2. Коргин А.В., Романец В.А., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Перспективы и проблемы применения алюминиевых сплавов при строительстве мостов в Российской Федерации // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2018. № 9. С. 42–48. DOI: 10.12737/article_5bab4a1a42eee3.23235487. EDN YLEPXF.

3. Трищенко В.И. Алюминиевые мосты: спрос отстает от предложения // *Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике*. 2017. № 5 (72). С. 73–78. EDN ZQQNBD.

4. Beaulieu D., Intemjcia J. Mission technique sur les ponts en aluminium // *Chantier infrastructures et Ouvrage d'art*. Tampa Bay, Floride, US, 2015.

5. Tindall P. Aluminium in Bridges // *ICE Manual of Bridge Engineering*. 2008.

6. Subudh K., Das S., Kaufman J. Aluminum alloys for bridges and bridge decks. Secat. Inc., 1505 Bull Lea Road, Lexington, KY 40511, 2007.

7. Hoglund T., Nilsson L. Aluminium in Bridge Decks and in a New Military Bridge in Sweden // *Structural Engineering International*. 2006. Vol. 16. Issue 4. Pp. 348–351. DOI: 10.2749/101686606778995100

8. Walbridge S., Chevrotière A.D.L. Opportunities for the use of aluminum in Vehicular Bridge Construction. University of Waterloo, 2012.

9. Okura I. Application of aluminium alloys to bridges and joining technologies // *Welding International*. 2003. Vol. 17. Issue 10. Pp. 781–785. DOI: 10.1533/weli.17.10.781.22037

10. Korgin A.V., Odesskii P.D., Ermakov V.A., Kelani L.Z.Z., Romanets V.A., Koroleva E.A. Strength of aluminum alloys for bridge building // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020. Vol. 2020. Issue 4. Pp. 373–382. DOI: 10.1134/S003602952004014X

11. Коргин А.В., Романец В.А., Зейд Килани Л.З., Ермаков В.А. Особенности проектирования ортотропных алюминиевых плит дорожного настила // *Актуальные проблемы строительной отрасли и образования : сб. докл. Первой Национальной конф.* 2020. С. 88–94. EDN FQBBJL.

12. Rom S., Agerskov H. Fatigue in aluminum highway bridges under random loading // International Journal of Applied Science and Technology. 2014. Vol. 4. Issue 6. Pp. 95–107.

13. Siwowski T. FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel. Rzeszów University of Technology, Poland, Archives of civil engineering, 2009.

14. Korgin A.V., Romanets V.A. NRU MSUCE: Fatigue strength of aluminum alloy structures // ИОАВ. 2020. Vol. 1. Issue S2. Pp. 1–10.

15. Дриц А.М., Нуждин В.Н., Овчинников В.В., Конюхов А.Д. Исследование усталостной долговечности основного материала и сварных соединений листов из сплава 1565ч // Цветные металлы. 2015. № 12 (876). С. 88–93. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.17. EDN WHOFFV.

16. Hwa L.P. BEng: Fatigue behaviour of 6061 aluminium alloy and its composite. Dublin City University, 2001.

17. Coughlin R., Walbridge S. Fatigue testing and analysis of aluminum welds under in-service highway bridge loading conditions // Journal of Bridge Engineering. 2012. Vol. 17. Issue 3. Pp. 409–419. DOI: 10.1061/(asce)be.1943-5592.0000223

18. Maljaars J., Soetens F., De Kuyver D. Structural Design of Aluminium Bridge Decks for Existing Traffic Bridges // IABSE Congress, Chicago 2008: Creating and Renewing Urban Structures — Tall Buildings, Bridges and Infrastructure. 2008. Pp. 584–585. DOI: 10.2749/222137908796293893

19. Овчинников В.В., Парфеновская О.А., Губин А.М. Влияние режима сварки трением с перемешиванием на прочность стыковых соединений алюминиевого сплава 1565ч // Технология металлов. 2020. № 7. С. 23–32. DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-23-32. EDN FWDNSS.

20. Ищенко А.Я., Подельников С.В., Покляцкий А.Г. Сварка трением с перемешиванием алюминиевых сплавов // Автоматическая сварка. 2007. № 11.

Поступила в редакцию 25 июня 2024 г.

Принята в доработанном виде 26 июня 2024 г.

Одобрена для публикации 2 июля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Андрей Валентинович Коргин — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры испытания сооружений; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; korguine@mgsu.ru, anvakorg@gmail.com;

Евгений Васильевич Васильев — руководитель направления транспортной инфраструктуры; Алюминиевая ассоциация; 123100, г. Москва, Краснопресненская набережная, д. 8; evgeniy.vasiliev@aluminas.ru;

Олег Геннадьевич Маслов — главный инженер по транспортной инфраструктуре; Алюминиевая ассоциация; 123100, г. Москва, Краснопресненская набережная, д. 8; oleg.maslov@aluminas.ru.

INTRODUCTION

At present in many economies of the world, including Russia, due to the growing number of motor vehicles, their load capacity and intensity of use, there

is a steady tendency of growth of road construction and reconstruction of existing road infrastructure, including bridges and overpasses. For the purposes of economic feasibility and construction reduction time, along with



Fig. 1. Arvida Bridge, Canadian province of Quebec, centre span 88.4 m



Fig. 2. Forsmo Bridge in Norway, span 39 m

the use of traditional solutions of bridge structures made of steel and reinforced concrete, there is an expanding use of new materials for bridge construction, such as aluminium alloys and polymeric materials¹ [1].

Bridge structures made of modern aluminium alloys are increasingly used in the construction and reconstruction of road infrastructure, which is a consequence of the unique physical and mechanical properties of aluminium alloys that allow to create efficient in weight, strength and aesthetic parameters elements of bridge structures with increased corrosion resistance compared to steel structures. The combination of such unique properties of aluminium alloys has proved to be in demand in bridge construction, initially in the construction of a wide variety of pedestrian bridges, and more recently in the construction of road bridges [2, 3].

The presence in the world and domestic practice of bridge construction of numerous examples of already built and operated bridges has proved their obvious advantages in terms of technology, speed of construction and practical absence of problems during operation, which serves as an incentive for the increasing use of aluminium alloys for the construction of road bridges.

The most famous examples in the world bridge-building practice are the Arvida Bridge motorway bridge built in 1950 in the Canadian province of Quebec with a span of 88.4 m (Fig. 1); the Forsmo motorway bridge built in 1995 in Norway with a span of 39 m (Fig. 2); and a number of other bridges built in North America, Europe and China^{2,3} [4–9].

¹ Application of aluminium in bridge construction. *Aluminium Association*. 2016. URL: www.aluminas.ru

² *Aluminium bridges abroad*. 2014. URL: www.aluminium-guide.ru

³ Road and pedestrian bridges in aluminium. Executive Summary, Report on visits to Sweden, Holland, and the United States. *Aluminium Association of Canada*. 2015.

MATERIALS AND METHODS

Construction of an aluminium alloy road bridge over the Linda River in Nizhny Novgorod Region

Project goals, objectives and milestones. In 2016, NRU MGSU by order of JSC “RUSAL TD” started research and development (R&D) on the construction of aluminium alloy bridges, and by December 2023, based on the research results, the first road bridge in the Russian Federation over the Linda River was designed, built and commissioned at the initiative of the Aluminium Association and the Government of Nizhny Novgorod Region. The bridge is two-lane, 4-span, 72 m long⁴ (Fig. 3, 4).

Research and development surveys. The construction of the bridge was preceded by a long R&D stage (since 2016), the purpose of which was to optimally select aluminium alloy grades, production technologies and design methods for aluminium alloy bridges. NRU MGSU with the participation of a number of organizations successfully carried out this work, during which laboratory and field tests were carried out to determine the strength, fatigue and corrosion properties, chemical composition, weldability and impact toughness of the most promising alloys for bridge construction⁵ (Fig. 5, 6) [10].

The final goal of R&D was to develop a normative document based on the obtained results — Code of Rules for the design of bridges and aluminium alloys, which was developed by NRU MGSU and approved by the Ministry of Construction of Russia in 2019 in the edition for pedestrian bridges under the name CP 443.1325800.2019 “Bridges with structures made of aluminium alloys. Design rules” [11].

⁴ Russia's first road bridge made of aluminium alloys. *Bulletin of the Aluminium Association*. 2024; 1(79).

⁵ CP 443.1325800.2019. Bridges with structures made of aluminium alloys. Design rules.



Fig. 3. View of the bridge from the side of the shoulder of the two lane highway



Fig. 4. Side view of the bridge, with the old single lane steel bridge visible in the background

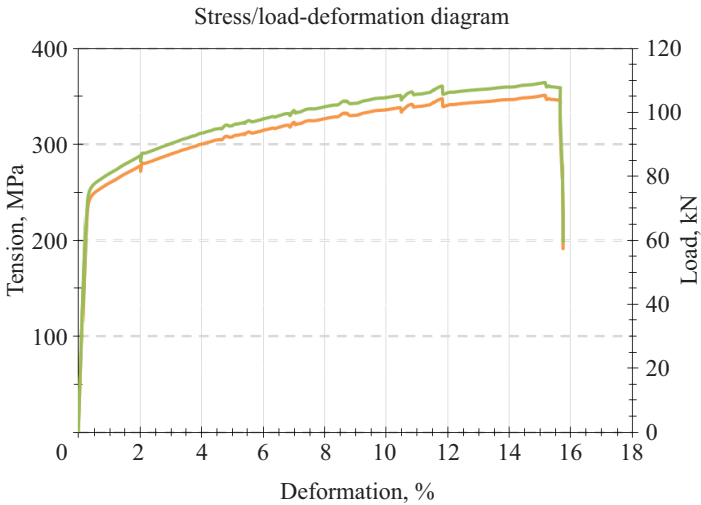
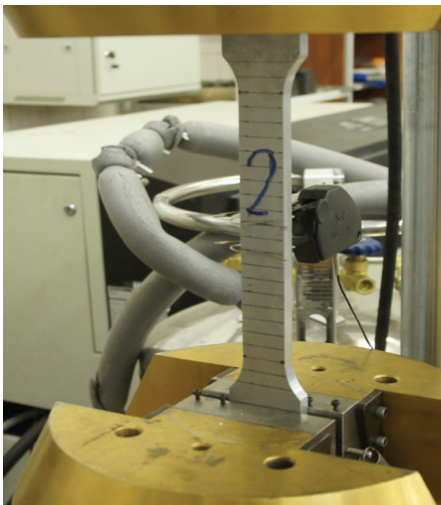


Fig. 5. View and results of static tests of 1915T alloy specimens

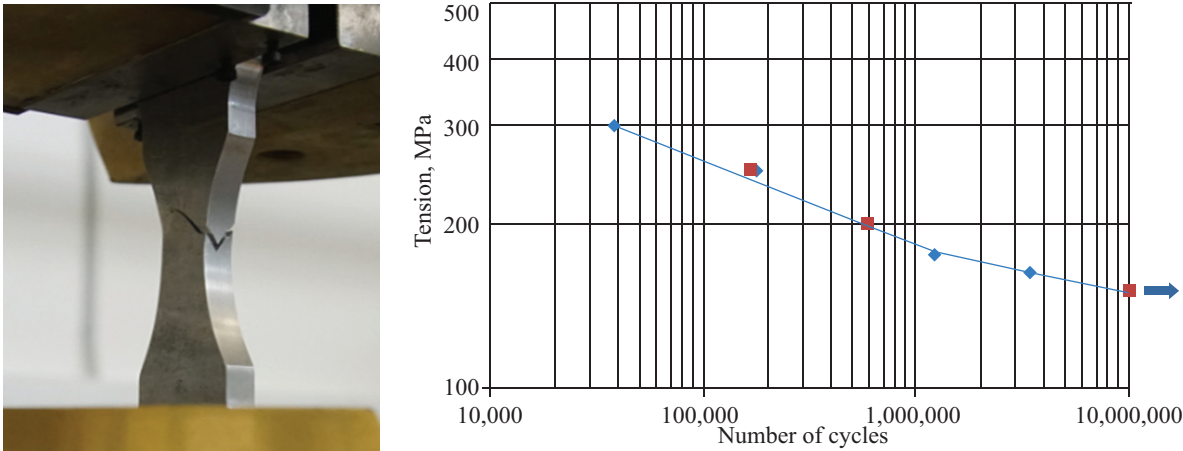


Fig. 6. View and results of fatigue tests of aluminium alloy 1915T

The extension of the scope of CP 443 to the design of road bridges required an additional phase of R&D with an extended programme to investigate the performance of structural elements of bridge structures made of the considered grades of aluminium alloys.

The responsible period of the extended work programme for NRU MGSU was the development, design (Fig. 7) and subsequent static and fatigue tests of ortho-

tropic plates made of EN AW-6082 T6 alloy for the first time in Russia, manufactured by CJSC “Sespel” and LLC “KraMZ” using innovative technologies of extruding structural elements from aluminium alloys and friction stir welding (FSW)⁶ (Fig. 8, 9) [12–20].

⁶ Patton G. Aluminum Orthotropic Deck Research Report. *Archive Florida Department of Transportation*. 2017; 52.

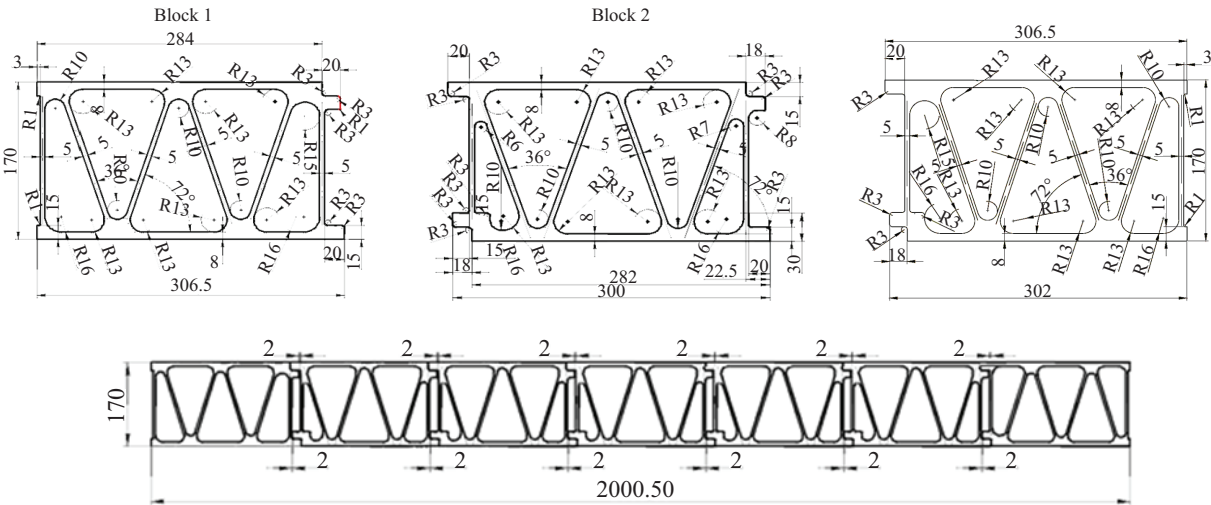




Fig. 9. Friction stir welding of an orthotropic slab on the bench

A batch of orthotropic slabs of the developed design designed by NRU MGSU using detailed finite element method (FEM) modelling was subjected to various static and fatigue tests with different types of pavement (Fig. 10).

The responsible part of R&D was to carry out endurance testing of the frame of a real pedestrian bridge

with a span of 10 m, made of alloy 1915T on the test bench of NRU MGSU (Fig. 11). The purpose of the tests is to determine the fatigue life (the number of loading cycles before fatigue crack formation) and to compare the obtained values with the results of calculations in accordance with the methodology developed by NRU MGSU and included in CP 443.1325800.2019. The ob-



Fig. 10. Paired orthotropic slabs with asphalt concrete coating on the test bench for static and fatigue tests



Fig. 11. Endurance tests of the load-bearing frame of a pedestrian bridge on the test bench of the Moscow State University of Civil Engineering and Architecture (NRU MGSU)

tained calculation results showed good agreement with the results of in-situ tests [14].

The conducted additional R&D programme served as a basis for the extension of CP 443.1325800.2019 for the design of road bridges made of aluminium alloys, the relevant version of the Set of rules has been prepared by NRU MGSU for approval by the Ministry of Construction of the Russian Federation, which expects the completion of the pilot phase of operation of the bridge built over the Linda River in 2025.

Design. The general designer of the bridge project is LLC “Renova-Stroy”, the designer of the span struc-

ture is LLC “PI-2”, with active support of NRU MGSU, which provided R&D results in a detailed scope. Special Technical Specifications (STS) approved by the Russian Ministry of Construction were developed for the project implementation.

The main feature of road bridges, which experience during their service life (at least 50 years) the impact of multi-million cycles of loading from motor vehicles, is the main reason for endurance calculations. NRU MGSU has developed software for endurance calculations, which was used by designers for endurance calculations of the designed bridge [15–18].

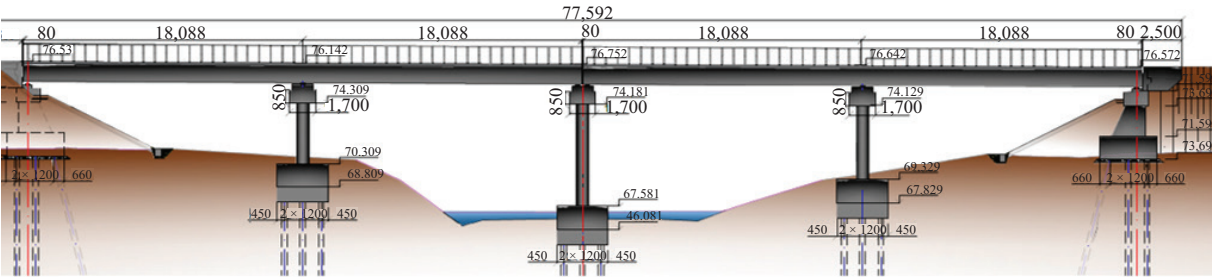


Fig. 12. General view of the longitudinal section of the bridge

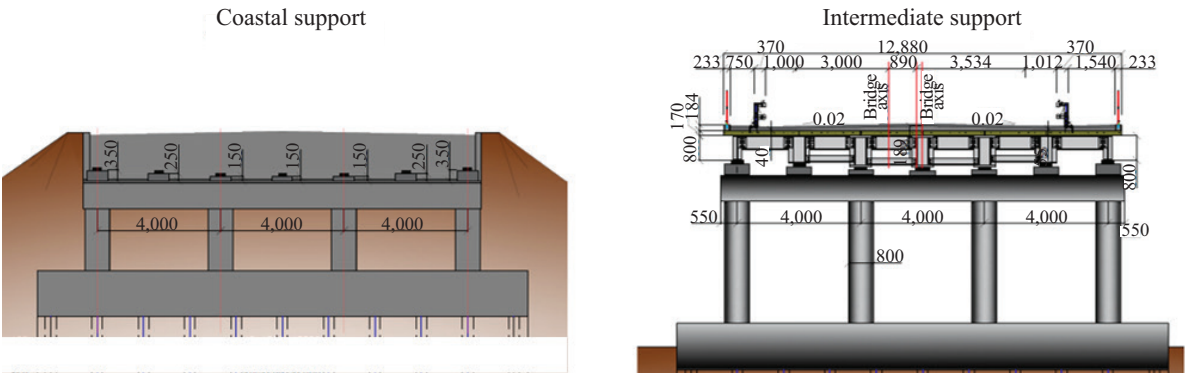


Fig. 13. View of reinforced concrete support parts of the bridge



Fig. 14. Longitudinal load-bearing beams of box section

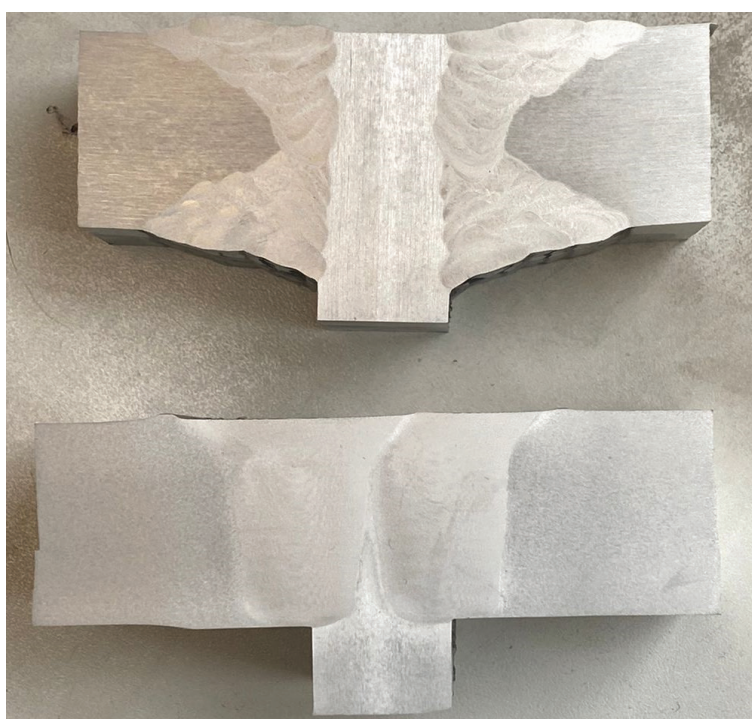


Fig. 15. Cross-sections of welds

The key parameters of the bridge project are shown in Fig. 12, 13.

The span structure is four-span continuous according to the scheme $(2 \times 18) + (2 \times 18)$. In the cross section there are 7 main box-section beams made of aluminum alloy 1565hM with a pitch of 2 m, interconnected by transverse beams and a system of diagonal (wind) connections at the level of the upper and lower chords (Fig. 14).

Bearing structural elements of the roadway are transversely located orthotropic plates with dimensions of 6.44×2.55 m in the amount of $7 \times 2 \times 4 = 56$ pieces, made of aluminium alloy EN AW-6082 T6. The bridge deck consists of two layers of cast asphalt concrete with a total thickness of 8 cm over a layer of polymer waterproofing.

RESULTS

Production. The bridge structures were manufactured at the CJSC “SespeI” plant in Cheboksary. The joining of rolled aluminium alloy sheets into structural elements was carried out by the automated FSW method, which produces high-quality homogeneous welds, the strength of which is comparable to that of the base metal (Fig. 15) [19, 20].

Before the structural elements were shipped to the construction site, the span assembly was checked at the factory (Fig. 16).

Sections of orthotropic slabs made of EN AW-6082 T6 alloy (Fig. 7–9) were also connected to each



Fig. 16. Control assembly of span elements at the factory



Fig. 17. Installation of the span on reinforced concrete supports



Fig. 18. Installed load-bearing girders of the span structure

other using FSW technology (see “Research and development” above).

The construction of the bridge was carried out by Viaduct-M LLC. Control over the manufacture of spans at the production site of JSC PE Sespel was carried out by Mostovaya Inspectorate LLC (Fig. 16). Construction control was carried out by the state customer GKU NO "GUAD" (Fig. 17–19).

The main elements of aluminium alloy span structures — longitudinal bearing beams, transverse purlins, orthotropic plates (Fig. 16) — were connected during

construction using high-strength galvanized steel bolts. The direct contact of even galvanized steel with aluminium, due to the difference in electrochemical potentials, leads over time to the formation of a very strong oxide compound in the contact zone, which prevents tightening and disassembly of the bolted connection. In order to avoid this phenomenon, bolted connections were supplemented with the installation of elastic steel spring inserts in the holes, preventing the contact of steel bolt with aluminium alloy and allowing to tighten bolts and disassemble connections if necessary (Fig. 20) [13].



Fig. 19. Installation of orthotropic slabs on the supporting beams of the span structur

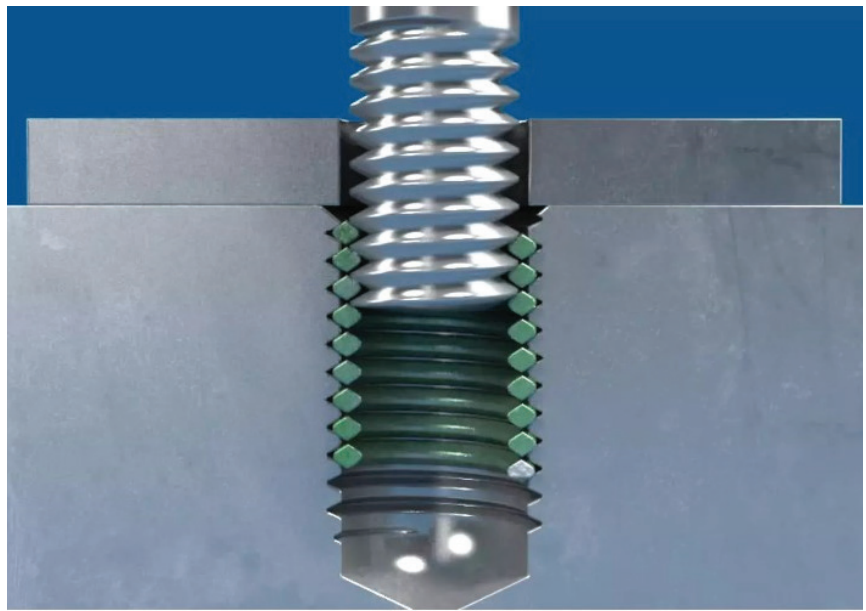


Fig. 20. Steel spring insert connecting aluminium elements with a steel bolt



Fig. 21. Traffic on the aluminium alloy road bridge over the Linda River

CONCLUSION

The aluminium alloy road bridge over the Linda River in Nizhny Novgorod region will be commissioned in December 2023 (Fig. 21).

The technical and operational condition of the constructed bridge is currently subject to periodic monitoring according to the established schedule. In addition, it is planned to install an automated monitoring system

that will allow remote control of the technical condition of the bridge in a continuous mode.

Based on the results of monitoring under the conditions of accident-free operation of the bridge in 2025 it is planned to approve by the Ministry of Construction of Russia the edition of CP 443.1325800.2019 developed by NRU MGSU for road bridges made of aluminium alloys.

REFERENCES

1. Borodkina V.V., Ryzhkova O.V., Ulas Yu.V. Prospects for the development of aluminum production in Russia. *Fundamental Research*. 2018; 12-1:72-77. EDN VRUWEK. (rus.).
2. Korgin A.V., Romanets V.A., Ermakov V.A., Zeid Kilani L.Z. Prospects and problems of using aluminum alloys in bridge construction in the Russian Federation. *Bulletin of Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov*. 2018; 9:42-48. DOI: 10.12737/article_5bab4a1a42eee3.23235487. EDN YLEPXF. (rus.).
3. Trishchenko V.I. Aluminium bridges: demand is behind the supply. *Transport of the Russian Federation*. 2017; 5(72):73-78. EDN ZQQNBD. (rus.).
4. Beaulieu D., Intemjcia J. *Mission technique sur les ponts en aluminium*. Chantier infrastructures et Ouvrage d'art. Tampa Bay, Floride, US, 2015.
5. Tindall P. Aluminium in Bridges. *ICE Manual of Bridge Engineering*. 2008.
6. Subudh K., Das S., Kaufman J. *Aluminum alloys for bridges and bridge decks*. Secat. Inc., 1505 Bull Lea Road, Lexington, KY 40511, 2007.
7. Hoglund T., Nilsson L. Aluminium in bridge decks and in a new military bridge in Sweden. *Structural Engineering International*. 2006; 16(4):348-351. DOI: 10.2749/101686606778995100
8. Walbridge S., Chevrotière A.D.L. *Opportunities for the use of aluminum in Vehicular Bridge Construction*. University of Waterloo, 2012.
9. Okura I. Application of aluminium alloys to bridges and joining technologies. *Welding International*. 2003; 17(10):781-785. DOI: 10.1533/weli.17.10.781.22037
10. Korgin A.V., Odesskii P.D., Ermakov V.A., Kelani L.Z.Z., Romanets V.A., Koroleva E.A. Strength of aluminum alloys for bridge building. *Russian Metallurgy (Metally)*. 2020; 2020(4):373-382. DOI: 10.1134/S003602952004014X
11. Korgin A.V., Romanets V.A., Zeid Kilani L.Z., Ermakov V.A. Design features of orthotropic aluminum slabs of road flooring. *Current problems of the construction industry and education : collection of reports of the First National Conference*. 2020; 88-94. EDN FQBBJI. (rus.).
12. Rom S., Agerskov H. Fatigue in aluminum highway bridges under random loading. *International Journal of Applied Science and Technology*. 2014; 4(6):95-107.

13. Siwowski T. *FEM modelling and analysis of a certain aluminium bridge deck panel*. Rzeszów University of Technology, Poland, Archives of civil engineering, 2009.
14. Korgin A.V., Romanets V.A. NRU MSUCE: Fatigue strength of aluminum alloy structures. *IIOAB*. 2020; 1(S2):1-10.
15. Drits A.M., Nuzhdin V.N., Ovchinnikov V.V., Konyukhov A.D. Investigation of fatigue durability of the base material and welded joints of sheets made of alloy 1565ch. *Tsvetnye Metally*. 2015; 12(876):88-93. DOI: 10.17580/tsm.2015.12.17. EDN WHOFFV. (rus.).
16. Hwa L.P. *BEng: Fatigue behaviour of 6061 aluminium alloy and its composite*. Dublin City University, 2001.
17. Coughlin R., Walbridge S. Fatigue testing and analysis of aluminum welds under in-service highway bridge loading conditions. *Journal of Bridge Engineering*. 2012; 17(3):409-419. DOI: 10.1061/(asce)be.1943-5592.0000223
18. Maljaars J., Soetens F., De Kluyver D. Structural design of aluminium bridge decks for existing traffic bridges. *LABSE Congress, Chicago 2008: Creating and Renewing Urban Structures — Tall Buildings, Bridges and Infrastructure*. 2008; 584-585. DOI: 10.2749/222137908796293893
19. Ovchinnikov V.V., Parfenovskaya O.A., Gubin A.M. Influence of conditions of friction welding with mixing on strength of butt joints of aluminum alloy 1565ch. *Tekhnologiya metallov*. 2020; 7:23-32. DOI: 10.31044/1684-2499-2020-0-7-23-32. EDN FWDNSS. (rus.).
20. Ishchenko A.Ya., Podelnikov S.V., Poklyatsky A.G. Friction welding with mixing of aluminum alloys. *Automatic Welding*. 2007; 11. (rus.).

Received June 25, 2024.

Adopted in revised form on June 26, 2024.

Approved for publication on July 2, 2024.

B I O N O T E S: **Andrey V. Korgin** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Testing Structures; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; korguine@mgsu.ru, anvakorg@gmail.com;

Evgeny V. Vasiliev — Head of Transport Infrastructure; **Aluminum Association**; 8 Krasnopresnenskaya embankment, Moscow, 123100, Russian Federation; evgeniy.vasiliev@aluminas.ru;

Oleg G. Maslov — Chief Engineer for Transport Infrastructure; **Aluminum Association**; 8 Krasnopresnenskaya embankment, Moscow, 123100, Russian Federation; oleg.maslov@aluminas.ru.