

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 624.21.014

DOI: 10.31675/1607-1859-2018-20-4-170-176

Б.С. СЕМУХИН,

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ДИНАМИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ МОСТОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В статье рассмотрена и решена задача определения динамических характеристик автомобильных стальных мостов. В лабораторных условиях промоделированы возможные нагрузки и построены эпюры напряжений. Путем измерения напряжений на реальном мосту были построены эпюры нагружения при всех возможных нагрузках. Путем сравнения с модельными эпюрами доказано влияние приложенных напряжений на суммарные напряжения вблизи неразъемных соединений типа тавр и стык. Показана эволюция напряжений в зависимости от транспортных потоков

Ключевые слова: автомобильные стальные мосты; динамическая эпюра нагружения; напряжения от сварных швов.

Для цитирования: Семухин Б.С. Динамические напряжения автомобильных мостовых металлических сооружений // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. Т. 20. № 4. С. 170–176.

B. S SEMUKHIN,

Tomsk State University of Architecture and Building

DYNAMIC STRESS IN AUTOMOBILE BRIDGEWORKS

The article considers and solves the problem of determining dynamic characteristics of automobile steel bridges. In the laboratory conditions, possible loads are simulated and stress diagrams are constructed. By measuring stresses in a real bridge, experimental loading diagrams are constructed for all possible loads. By comparison with the model diagrams, the stress effect in permanent joints is shown. The stress evolution is shown depending on the traffic flow.

Keywords: automotive steel bridge; dynamic loading diagram; weld-induced stress.

For citation: Semukhin B.S. Dinamicheskie napryazheniya avtomobil'nykh mostovykh metallicheskih sooruzhenii [Dynamic stress in automobile bridgeworks].

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2018. V. 20. No. 4. Pp. 170–176. (rus)

Проблемы динамики и прочности мостовых конструкций часто решаются на основе определения статических и динамических номинальных и локальных напряжений от эксплуатационных нагрузок. Одной из важнейших задач при решении проблем обеспечения прочности, ресурса и безопасности современных мостов всегда являлось определение напряженно-деформированных состояний (НДС) несущих элементов конструкций при эксплуатации. Серьезной проблемой при оценке напряженно-деформированного состояния несущих конструкций являются остаточные и действующие напряжения в них, возникающие, например, вследствие сварки.

Автомобильные мостовые металлические переходы занимают значительное место среди всех типов мостов. Этому способствует все увеличивающаяся сеть автодорог, а неразрезное металлическое строение позволяет уменьшать сроки строительства. Такой тип мостов достаточно просто проектируется в связи с небольшим количеством неразъемных сварных соединений, а сами мосты в процессе строительства и эксплуатации поддаются аттестации как в статическом, так и в динамическом состоянии (СТП 005-97. Технология монтажной сварки стальных конструкций мостов. М.: Корпорация «Трансстрой», 1998. С. 147).

Поэтому разработка новых способов и методик анализа упругого и упругопластического состояния металла мостов является актуальной задачей. Новизна решения предлагаемого способа определяется тем, что анализируется состояние металла вблизи и вдали от сварного шва в разных точках пролетного строения непосредственно в процессе эксплуатации, что позволяет разделить статическую и динамическую составляющие.

Отметим, что во многих работах приводятся данные по определению или расчету напряжений, возникающих во время движения транспорта по мосту. По результатам измерений или расчетов проводится либо укрепление несущих конструкций [1], либо, как это просматривается в большинстве работ [2–9], проводят сравнение с существующими методами и определяют срок службы моста.

Но методика лабораторного моделирования работы неразъемных соединений в процессе нагружения (эксплуатации), а затем сравнения с экспериментально наблюдаемыми величинами напряжений на эксплуатируемых мостах отсутствует. Поэтому нами предложена такая методика, апробированная на Коммунальном мосту через р. Томь (г. Томск).

Моделирование напряжений в образцах стали 15ХСНД, широко используемой в мостостроительстве, проводили с помощью нагружения вплоть до упругопластического состояния. Нагружение проводили на испытательной машине Instron 3382. Образцы представляли сваренные встык и в тавр полосы размерами 500×90×6 мм. Для каждого соединения было проанализировано по 15 образцов. Испытания осуществляли по методу 4-точечного нагружения ГОСТ 14019–80. Во время нагружения фиксировали скорость поверхностных рэлеевских волн с дальнейшим пересчетом их в напряжения по опубликованной методике [10].

В результате таких измерений построены объемные (3d) изображения распределения напряжений вблизи и вдали от сварочного шва в процессе нагружения (in situ). Рассмотрим сначала влияние на распределения и величину напряжений вблизи и вдали от стыкового сварного шва. Из рис. 1 следует, что вблизи самого сварного шва величина напряжений невелика. При смещении от корня шва на 5 см происходит увеличение напряжений, которые достигают локального максимума на расстоянии 10 см. В этом увеличении нет ничего удивительного, ведь здесь расположена зона термического влияния (ЗТВ), хорошо известная для всех видов сварных швов. Однако при дальнейшем смещении величина напряжений уменьшается и в районе 30 мм достигает своего локального минимума. Отметим, что знак напряжений «плюс», т. е. идет процесс растяжения стали. Таким образом, можно констатировать, что в исходном ненагруженном состоянии образцы стали со сварным стыковым швом имеют по обе стороны от шва симметричный характер в упругонапряженном состоянии. Это свидетельствует о хорошем качестве сварки. Дальнейшие испытания меняют картину распределения.

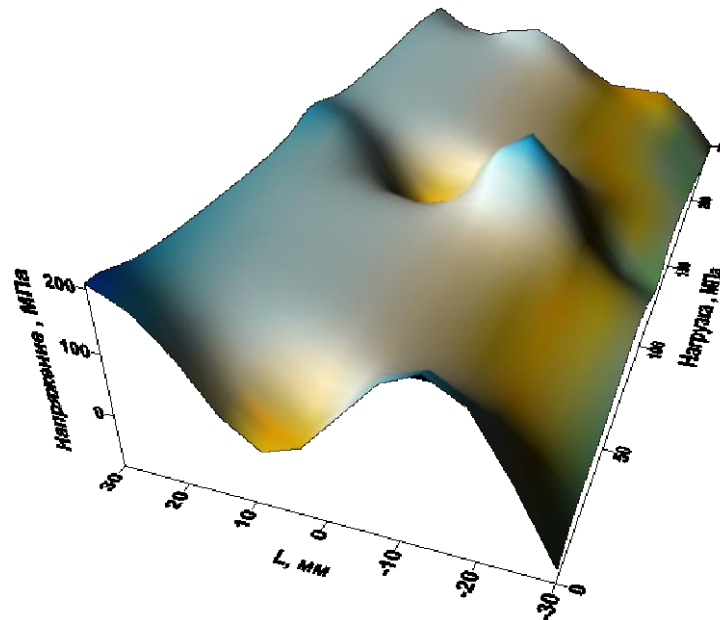


Рис. 1. Изменение напряжений вблизи сварного шва стыкового соединения при разной нагрузке

При нагружении до 100 МПа происходит выравнивание действующих напряжений вблизи и вдали от корня шва. Их величина становится менее 75 МПа. Такое распределение может говорить о значительном вкладе на этом участке упругих сжимающих напряжений, и, как следствие, происходит уменьшение суммарного вклада в картину распределения. При дальнейшем увеличении нагрузки происходит увеличение напряжений, хотя характер и форма распределения остаются прежними. Это свидетельство в пользу того, что при больших и малых нагрузках шов работает одинаково и не происходит

резкого увеличения, а, напротив, происходит опять выравнивание поверхности напряжений.

В результате при сравнении с эпюрой напряжений в реально эксплуатируемом мосту следует ожидать такого же поведения конструкции со стыковыми швами данного типа.

Далее рассмотрим работу таврового соединения, очень широко используемого в строительстве мостов. Из рис. 2 следует, что в исходном состоянии величина напряжений по разные стороны сварного шва не превышает 100 МПа. Более того, наблюдается симметричное распределение напряжений вблизи сварного шва. Однако при дальнейшем увеличении нагрузки видно, что после 15 см от корня шва происходит резкое изменение. С одной стороны напряжения на расстоянии 30 см немного увеличиваются, не превышая 100 МПа, а с другой стороны на расстоянии 15 см наблюдается максимум. Далее напряжения подобно картине для стыкового шва значительно уменьшаются. Таким образом, из картины распределения напряжений вблизи таврового соединения следует, что несимметричная картина говорит о том, что сварку проводили с одной стороны. С другой стороны материал был «прихвачен». Однако наличие ЗТВ наблюдается и в этом случае. Более того, проанализировав картину, далее следует сделать вывод об очень хорошем качестве таврового сварного соединения. Об этом свидетельствует неувеличение максимумов напряжений и сохранение одного распределения напряжений вдали и вблизи от сварного шва.

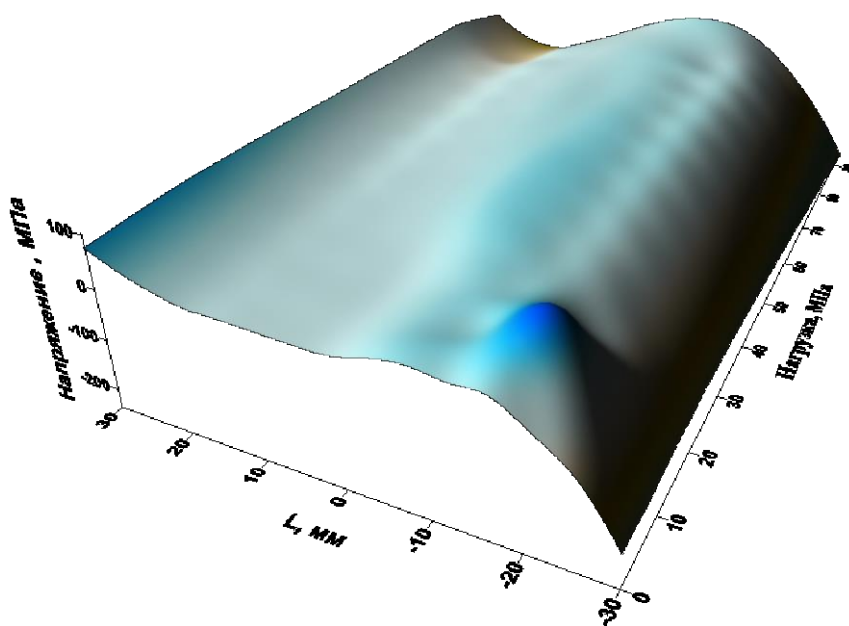


Рис. 2. Изменения напряжений при разной нагрузке вблизи таврового соединения

Таким образом, промоделировав в лабораторных условиях работу неразъемных соединений, переходим к анализу измерений напряжений в балке главного пролета Коммунального моста через р. Томь в г. Томске.

Измерения проводили в разных точках по вертикали главной балки. В каждой точке измерения проводили при разных грузовых потоках с целью установления реально возникающих напряжений. На рис. 3 приведена эпюра нагружения. При разных грузовых потоках наблюдается резкое изменение – увеличение или уменьшение напряжений в разных точках главной балки. Такие изменения однозначно говорят о том, что в этих местах присутствует сильный концентратор напряжений – сварной шов. В главной балке в середине есть горизонтальные ребра жесткости и продольный сварной шов. Если проанализировать изменение напряжений вблизи этих швов, станет ясно, что в процессе изменения нагрузки, т. е. в динамике работы моста, есть моменты, когда напряжения, возникающие вблизи шва, растут, как это и продемонстрировано на рис. 1 и 2, где в модельных условиях показана работа неразъемных соединений. Величины напряжений с течением времени эксплуатации могут как увеличиваться, так и уменьшаться. Поэтому систематический мониторинг состояния стали в ранее измеренных точках позволит заранее предпринимать меры по улучшению. Такую задачу решит сравнение с модельными эпюрами, полученными ранее в лабораторных условиях. А сравнение эпюр на реальном мосте позволит определять динамические характеристики.

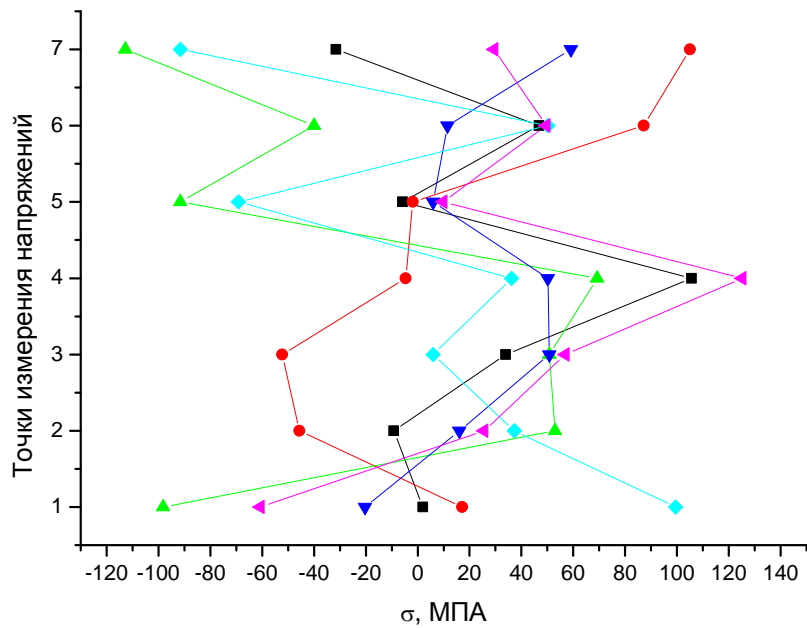


Рис. 3. Динамическая эпюра напряжений в главной балке моста при разной нагрузке (число автомобилей на мосту)

В заключение можно сделать вывод о том, что неразъемные соединения, широко используемые при строительстве стальных мостов на автодорогах, влияют на перераспределение напряжений в основных конструкциях мостов, что может приводить к деформации и разрушению долгие годы работающих элементов моста.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Grigoriou V., Nussbaumer A., Lignos D.G. Fatigue Strength Upgrading of Cover Plate Ends by Welded Extensions in Existing Steel Bridge Girders // *Journal of bridge engineering*. 2018. V. 23. № 7. № 04018037.
2. Cui Chuang, Zhang Qinghua, Luo Ying. Fatigue reliability evaluation of deck-to-rib welded joints in OSD considering stochastic traffic load and welding residual stress // *International journal of fatigue*. 2018. V. 111. P. 151–160.
3. Han Yan, Li Kai, He Xuhui. Stress Analysis of a Long-Span Steel-Truss Suspension Bridge under Combined Action of Random Traffic Wind Loads // *Journal of aerospace engineering*. 2018. V. 31. № 3. № 04018021.
4. Liu Jia, Qu Weilian, Nikitas Nikolaos. Research on extending the fatigue life of railway steel bridges by using intelligent control // *Construction and building materials*. 2018. V. 168. P. 532–546.
5. Qiang Bin, Li Yadong, Yao Changrong. Through-thickness welding residual stress and its effect on stress intensity factors for semi-elliptical surface cracks in a butt-welded steel plate // *Engineering fracture mechanics*. 2018. V. 193. P. 17–31.
6. Miki C., Ono K., Yokoyama, K. Identification of the causes of fracture in the steel pipe column of a pedestrian bridge // *Welding in the world*. 2009. V. 53. № 9-10 P. R229-R237.
7. Шрон Л.Б., Гооге С.Ю., Богуцкий В.Б. Гордеева Э.С. Концентраторы и градиенты напряжений в сварных соединениях с угловыми швами // *Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета*. 2016. № 51 С. 118–123.
8. Михайленко Т.Г. О напряжённом состоянии сварных узлов стальных конструкций // *Технические науки – от теории к практике*. 2013. № 22. С. 50–55.
9. Мальгин М.Г., Кирьян В.И. Расчет на усталость сварных узлов ортотропных плит металлических пролетных строений мостов по локальным напряжениям // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна*. 2011. № 39. С. 91–97.
10. Semukhin B.S. Determination of Strains near the Welded Seams // *Engineering*. 2010. 2. 12. P. 950–952.

REFERENCES

1. Grigoriou V., Nussbaumer A., Lignos D.G. Fatigue strength upgrading of cover plate ends by welded extensions in existing steel bridge girders. *Journal of Bridge Engineering*. 2018. V. 23. No. 7. P. 04018037.
2. Cui Chuang, Zhang Qinghua, Luo Ying. Fatigue reliability evaluation of deck-to-rib welded joints in OSD considering stochastic traffic load and welding residual stress. *International Journal of Fatigue*. 2018. V. 111. Pp. 151–160.
3. Han Yan, Li Kai, He Xuhui. Stress analysis of a long-span steel-truss suspension bridge under combined action of random traffic wind and loads. *Journal of Aerospace Engineering*. 2018. V. 31. No. 3. P. 04018021.
4. Liu Jia, Qu Weilian, Nikitas Nikolaos. Research on extending the fatigue life of railway steel bridges by using intelligent control. *Construction and Building Materials*. 2018. V. 168. Pp. 532–546.
5. Qiang Bin, Li Yadong, Yao Changrong. Through-thickness welding residual stress and its effect on stress intensity factors for semi-elliptical surface cracks in a butt-welded steel plate. *Engineering Fracture Mechanics*. 2018. V. 193. Pp. 17–31.
6. Miki C., Ono K., Yokoyama, K. Identification of the causes of fracture in the steel pipe column of a pedestrian bridge. *Welding in the World*. 2009. V. 53. No. 9–10. Pp. R229–R237.
7. Shron L.B., Googe S.Yu., Bogutskii V.B. Gordeeva E.S. Kонтсentratory i gradyenty napryazhenii v svarnykh soedineniyakh s uglovymi shvami [Stress concentrators and gradients in welded joints]. *Uchenye zapiski krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta*. 2016. No. 51. Pp. 118–123. (rus)

8. *Mikhailenko T.G.* О напряженном состоянии сварных узлов стальных конструкций [Stress state of welded joints in steel structures]. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*. 2013. No. 22. Pp. 50–55. (rus)
9. *Mal'gin M.G., Kir'yan V.I.* Raschet na ustalost' сварных узлов ортотропных плит металлических пролетных строений мостов по локальным напряжениям [Fatigue analysis of welded assemblies in orthotropic decks of metal bridge spans]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana*. 2011. No. 39. Pp. 91–97. (rus)
10. *Semukhin B.S.* Determination of strains near the welded seams. *Engineering*. 2010. V. 2. No. 12. Pp. 950–952.

Сведения об авторе

Семухин Борис Семенович, докт. техн. наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2

Author Details

Boris S. Semukhin, DSc, Professor, Tomsk State University of Architecture and Building, 2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia