

Использование тензодатчиков при определении напряженно-деформированного состояния шарнирно-стержневой рамы

Е.Е. Устименко, С.В. Скачков

Донской государственной технической университет

Аннотация: В данной статье представлено обоснование выбора измерительных приборов (тензорезисторов) для испытаний легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) для определения напряженно-деформированного состояния. Описана методика определения оптимальных мест установки датчиков, требуемые меры.

Ключевые слова: тонкостенный профиль, испытание, рама, тензорезистор, сжатие, растяжение, напряжение, выгиб, потеря устойчивости.

В рамках исследования легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) авторами статьи были произведены натурные испытания шарнирно-стержневой рамы. Для более получения более точных и справедливых данных, в том числе при последующих измерениях, возникла необходимость изучения вопроса методики испытаний.

При определении напряженно-деформированного состояния профилей шарнирно-стержневой рамы были выполнены тензометрические измерения. В раме, подлежащей изучению, были рассмотрены два одинаковых профиля с одинаковыми по величине напряжениями, один из которых работает на сжатие, другой - на растяжение [1].

На рисунке 1 изображена испытываемая рама с рассматриваемыми профилями. Растянутый элемент-2 и сжатый-1.

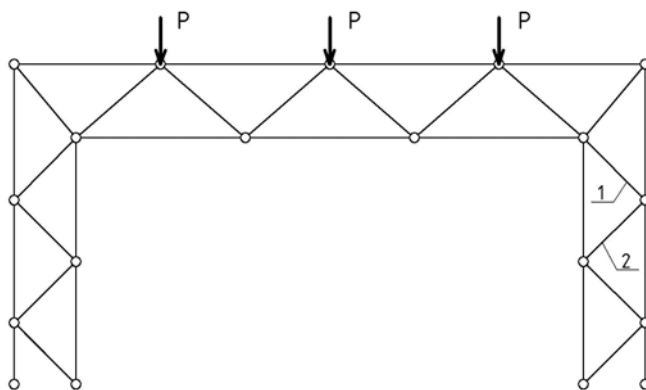


Рисунок 1 Испытуемая рама

Для определения величины напряжения на элементы были закреплены тензорезисторы ТР, представленные тремя группами.

Тензорезисторы, входящие в первую группу в количестве 8 штук были расположены около отверстий болтов.

Вторая группа 2 группа ТР была закреплена на исследуемых участках сжатого элемента в количестве 6 штук, 3 группа размещена на исследуемых участках растянутого элемента в количестве 6 штук.

Общее количество закреплённых тензорезисторов составило 20 штук.

В исследовании напряженно-деформированного состояния стержневой рамы были применены два типа тензорезисторов, один из которых четвертьмостовой ВF350-3АА с размером решётки 3,2х3,1 (Рисунок 2 а), второй- полумостовой ВF350-3ВВ с размером решетки 3,0х3,1 (Рисунок 2 б).

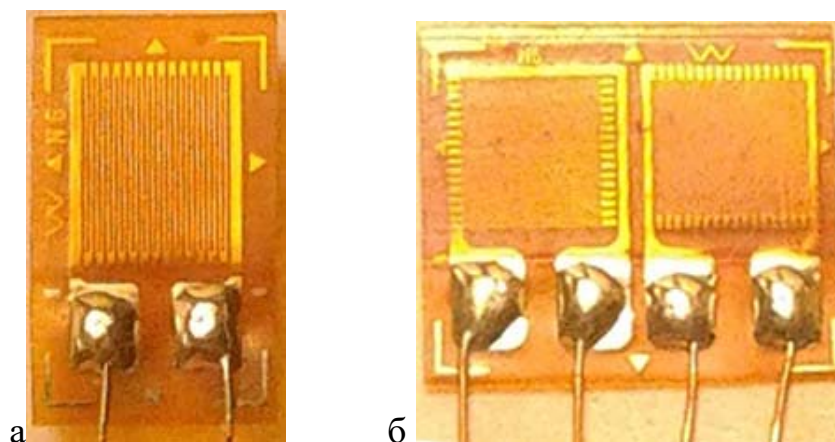


Рисунок 2 Применяемые тензорезисторы для испытаний: а – четвертьмостовой ТР; б – полумостовой ТР

Сопротивление обоих типов тензорезисторов составляет 350 Ом. Тензорезисторы, использованные при изучение работы рамы, предназначены для стали марки С245 и являются термокомпенсированными, с температурными коэффициентами расширения 12 ppm/C°, в связи с чем схема температурной компенсации не применялась.

Температура окружающей среды при измерении составила $21 \pm 3^\circ\text{C}$.

Предел прочности тензорезисторов был принят не менее 20000 мкМ/м.

Поверхность тонкостенного стального профиля перед установкой тензорезисторов соответствующим образом подготавливалась. Проводилась зачистка поверхностей и обработка ее шероховатости не более $R_z 2.0$ согласно ГОСТ 2789-73, после чего место установки тензорезистора обезжиривалось ацетоном и спиртом [2,3].

Питание тензодатчиков производится при постоянном напряжении 12 В. Схема подключения тензодатчиков представлены двумя видами.

Первый вариант – это мост с одним активным тензорезистора, при котором используется схема, измеряющая деформацию растяжения и сжатия.

Тензорезистор при данной схеме подключения устанавливается на деформируемую конструкцию вдоль оси растяжения-сжатия, при этом деформация изгиба должна отсутствовать полностью или быть минимальной [4].

При данной схеме тензорезистор должен быть компенсационным, с возможностью нивелирования погрешности от перепада температуры окружающей среды.

Мост с одним активным тензорезистором изображён на рисунке 3.

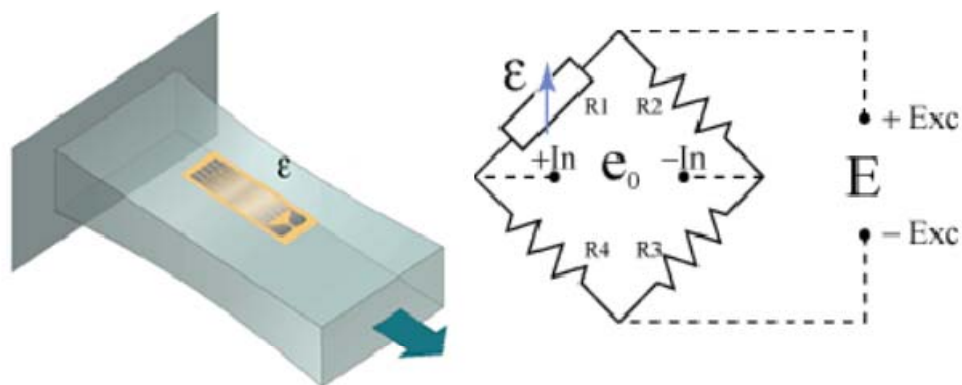


Рисунок 3 Мост с одним активным тензорезистором

В испытаниях данный вариант моста применялся для определения деформации на участках вблизи кромок отверстий в профилях сжатых и растянутых.

Выбор данной схемы подключения обусловлен тем, что установка тензорезистора в этом случае возможно только с одной стороны, ко второй стороне примыкает толстостенная пластина объёмного фасонного элемента [3].

В элементах, работающих на сжатие применяется полумостовой тензорезистор, для определения напряжений вблизи кромок отверстий [4] (Рисунок 2 б) и при сокращении площади наклейки (Рисунок 4).

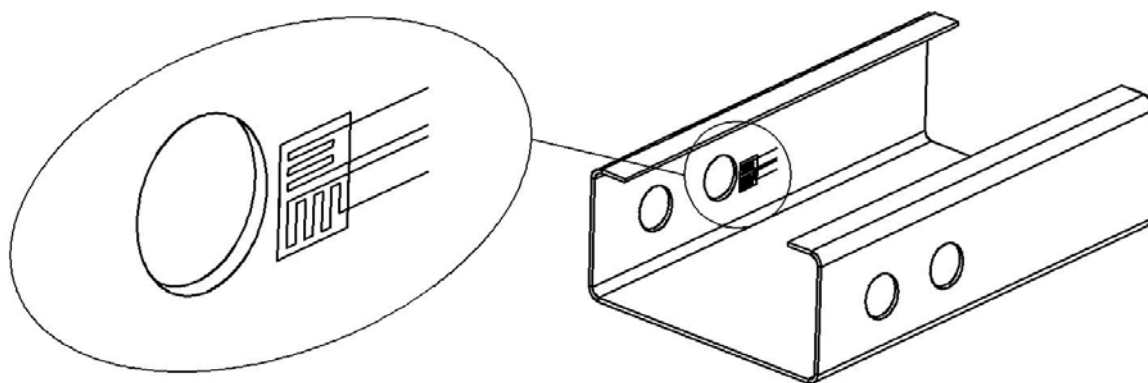


Рисунок 4 Расположение тензорезисторов возле кромок болта на элементе рамы, работающем на сжатие

Данная схема подключения представлена двумя разнонаправленными мостами с одним активным тензорезистором, который служит для измерения статического напряжения в кромке отверстия от болта в двух направлениях, вдоль действия напряжения и перпендикулярно.

В случае необходимости установки тензорезистора вблизи кромки отверстия в усиленной шайбы выполнялась выемка (Рисунок 5).

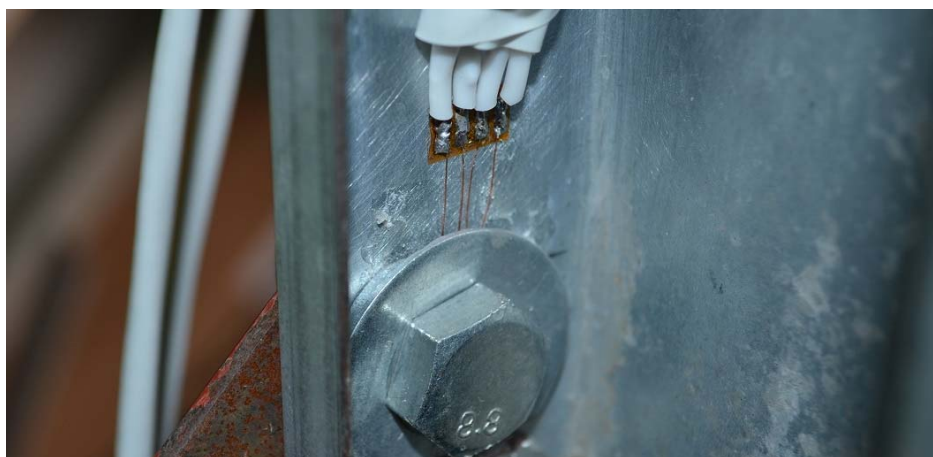


Рисунок 5 Подключение тензорезисторов под шайбой на профиле с сжимающим усилием

В растянутых элементах при определении напряжений вблизи кромок отверстий, применялся четвертьмостовой тензорезистор (Рисунок 2 а) с одной стороны и (Рисунок 6) с двух сторон отверстия, где возникают концентрации напряжений [5,6].

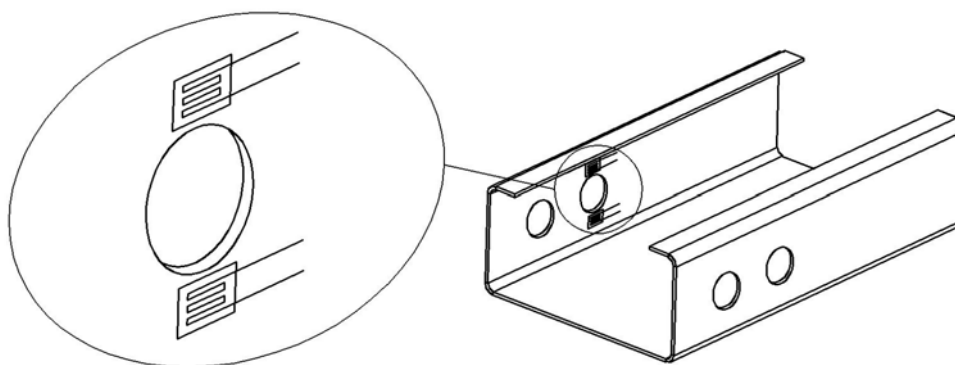


Рисунок 6 Расположение тензорезисторов возле кромок болта на элементе рамы, работающем на растяжение

При этом в усиленной шайбе необходимо вырезка двух выемок при расположении тензорезисторов вблизи кромки отверстий.

Второй вариант представлен мостом с двумя активными тензорезисторами в точках синфазной деформации (Рисунок 7), который

применяется для определения напряжений в растянутых и сжатых элементах рамы.

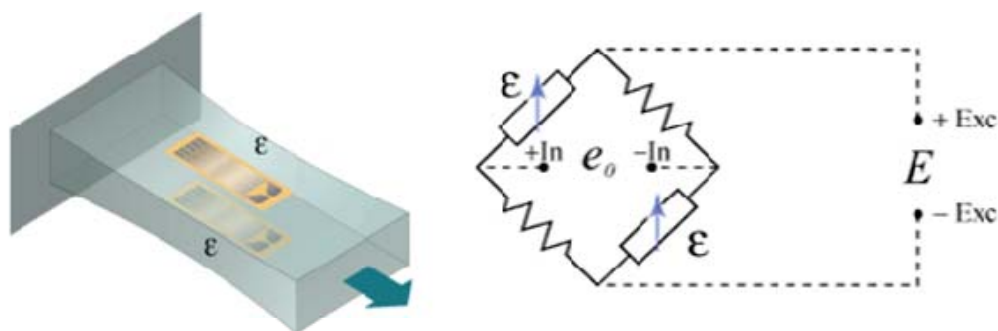


Рисунок 7 Мост с двумя активными тензорезисторами в точках синфазной деформации

Следует отметить, что данная схема не обеспечивает термокомпенсации, но не даёт погрешности результатов при деформации изгиба.

При применении этой схеме при исследовании работы элементов, необходим доступ к противоположной стороне деформируемой поверхности.

При изучении работы растянутых профилей использовались полумостовые тензорезисторы (Рисунок 8 а) для измерения напряжения вдоль основного усилия в стержне и в перпендикулярном направлении.

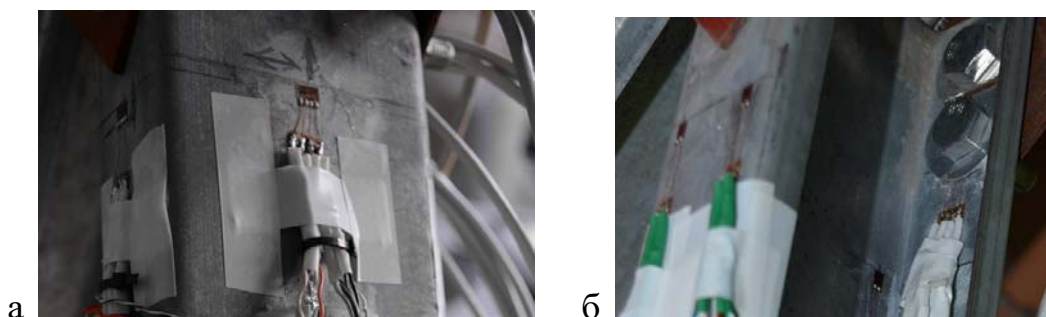


Рисунок 8 Расположение тензорезисторов на профилях, работающих: а – на растяжение; б – на сжатие

При этом тензорезисторы крепились на двух полках и стенке посередине поперечного сечения [7, 8].

Для исследования работы сжатых элементов применялись четвертьволновые тензорезисторы, для измерения напряжения вдоль действия основного усилия в элементах (Рисунок 8 б).

Расположение тензорезисторов принималось в местах, где влияние потеря местной устойчивости на работу элемента минимально [9, 10]. Тензорезисторы приклеивали на двух полках и стенке по две штуки.

Таким образом, на основании описываемых в статье испытаний, была отработана методика исследований тонкостенных профилей.

Литература

1. Балдин В.А., Решетников В.Н., Гукова Н.И., Мелкумян Б.С. Испытание ферм покрытий из одиночных уголков с соединениями дуговой точечной сваркой в составе пространственных блоков. Новые конструктивные решения строительных металлических конструкций. ЦНИИСК. М., 1983. – с. 32-47.
2. Долидзе Д.Е. Испытания конструкций и сооружений. – М.: Высшая школа, 1975 – 252 с.
3. Rasmussen J. R. Kim. Bifurcation of locally buckled point symmetric columns - Experimental investigations //Thin-Walled Structures. 2006. Vol. 44. Issue 11. Pp. 1175-1184.
4. Синельников А.С., Орлова А.В. Прочность просечно-растяжного профиля: испытания и математическое моделирование // Вестник МГСУ: Научно-технический журнал по строительству и архитектуре / Московский государственный строительный университет. – М., 2013 - № 12 - С. 41-54.

5. Тарасов, А.В. Экспериментально-теоретические исследования рамных конструкций из стальных холодногнутых профилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01/Тарасов Алексей Владимирович. – Томск, 2013 - 22 с.
6. Рыбаков В. А., Недвига П. Н. Эмпирические методы оценки несущей способности стальных тонкостенных просечно-перфорированных балок и балок со сплошной стенкой // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 8. С. 27-30.
7. Sapountzaki E.J., Dourakopoulos J.A. Flexural–torsional postbuckling analysis of beams of arbitrary cross section // Acta Mechanica. – 2010. № 209-67 pp. 11-21.
8. David Hui. Design of beneficial geometric imperfections for elastic collapse of thin-walled box columns // International Journal of Mechanical Sciences. – 1986. - № 3. pp. 1-12.
9. Вернези Н.Л. Метод оценки прочности металла неразрушающим способом с использованием априорной информации // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.
10. Бузало Н.А., Гайджуров П.П., Кожихов А.Г. Исследования сжатых перфорированных стоек и совершенствование их конструктивной формы // Инженерный вестник Дона, 2009, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/129.

References

1. Baldin V.A., Reshetnikov V.N., Gukova N.I., Melkumjan B.S. Ispytanie ferm pokrytij iz odinochnyh ugol'kov s soedinenijami dugovoj tochechnoj svarkoj v sostave prostranstvennyh blokov. Novye konstruktivnye reshenija stroitel'nyh metallicheskih konstrukcij. [Testing of truss coatings from single roll-formed angles steel with spot-arc joints in the composition of spatial blocks. New constructive solutions for building metal structures] CNIISK. M., 1983. pp. 32-47.
-



2. Dolidze D.E. Ispytaniya konstrukcij i sooruzhenij. [Testing of buildings and constructions] M.: Vysshaja shkola, 1975. 252 p.
3. Rasmussen J. R. Kim. Bifurcation of locally buckled point symmetric columns - Experimental investigations Thin-Walled Structures. 2006. Vol. 44. Issue 11. Pp. 1175-1184.
4. Sinel'nikov A.S., Orlova A.V. Vestnik MGSU: Nauchno-tehnicheskij zhurnal po stroitel'stvu i arhitekture. Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet. M., 2013 № 12. pp. 41-54.
5. Tarasov, A.V. Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija ramnyh konstrukcij iz stal'nyh holodnognutyh profilej: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk [Experimental and theoretical studies of frame structures made of cold-formed steel profiles]: 05.23.01 Tarasov Aleksej Vladimirovich. Tomsk, 2013. 22 pp.
6. Rybakov V. A., Nedviga P. N. Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. 2009. № 8. pp. 27-30.
7. Sapountzaki E.J., Dourakopoulos J.A. Acta Mechanica. 2010. № 209-67 pp. 11-21.
8. David Hui. International Journal of Mechanical Sciences. 1986. № 3. pp. 1-12.
9. Vernezi N.L. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1898.
10. Buzalo N.A., Gaydzhurov P.P., Kozhikhov A.G. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2009, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2009/129.