

■ СЛИЧЕНИЯ / COMPARISONS

DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-2-57-61

МЕЖЛАБОРАТОРНЫЕ СЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В ОБЛАСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИИ

© Шимолин Ю. Р., Трибушевская Л. А., Остроухова Л. А.

УНИИМ – филиал ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация
e-mail: form233@uniim.ru

Поступила в редакцию – 30 января 2019 г., после доработки – 16 июня 2020 г.
Принята к публикации – 20 июня 2020 г.

В статье приведены: понятие деформации, единицы измерений деформации, средства, способы и особенности измерений деформации.

Описан раунд межлабораторных сличительных испытаний в области измерений деформации по определению характеристик тензорезисторов с помощью установок чистого изгиба. Представлены результаты раунда, анализ и выводы.

Ключевые слова: установка чистого изгиба, тензорезистор, деформация

DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-2-57-61

INTERLABORATORY COMPARISONS IN THE FIELD OF STRAIN MEASUREMENTS

© Yuri R. Shimolin, Lydia A. Tribushevskaja, Lydia A. Ostroukhova

UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology
Ekaterinburg, Russia
e-mail: form233@uniim.ru

Received – 30 January, 2019. Revised – 16 June, 2020.
Accepted for publication – 20 June, 2020.

The article puts forward the concept of strain, the strain measurement units, means, methods and specifics of strain measurement.

Ссылка при цитировании:

Шимолин Ю. Р., Трибушевская Л. А., Остроухова Л. А. Межлабораторные сличительные испытания в области измерений деформации // Эталоны. Стандартные образцы. 2020. Т. 16. № 2. С. 57–61. DOI: 10.20915/2687-0886-2020-16-2-57-61.

For citation:

Shimolin Yu. R., Tribushevskaja L. A., Ostroukhova L. A. Interlaboratory comparisons in the field of deformation measurements. *Measurement standards. Reference materials*. 2020;16(2): 57–61. DOI 10.20915/2687-0886-2020-16-2-57-61 (In Russ.).

The round of interlaboratory comparisons in the field of measuring strain by determining the characteristics of tensoresistors with the help of pure bending installations. The results of the round, the analysis and the conclusions are presented

Keywords: pure bending installation, tensoresistor, deformation, strain

Введение

Деформацией называется изменение размеров и формы физических тел, обусловленное изменением взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением друг относительно друга, вызванное либо полем напряжений (механическая деформация), либо изменением температуры (тепловое расширение). Изучение и измерение деформации необходимо при установлении прочности, жесткости и устойчивости деталей, элементов конструкций и сооружений. В технике обычно используют понятие относительной деформации, то есть отношение абсолютной деформации к первоначальному значению длины. Относительная деформация – величина безразмерная и измеряется в относительных единицах. Постановлением Правительства РФ от 31 октября 2009 г. № 879 [1] в качестве относительных единиц предусмотрены: процент, промилле, миллионная доля. Для деформации используется миллионная доля, которая соответствует принятой за рубежом единице микрострейн ($\mu\epsilon$) или мкм/м. Средства измерений деформации очень разнообразны в зависимости от области применения: тензорезисторы и датчики измерений локальных деформаций; тензометры различных типов; экстензометры для измерений деформации образцов при испытаниях материалов; тензокалибраторы и установки воспроизведения деформации. Особенностью измерений деформации является необходимость использования артефакта или средства сравнения, обладающего установленными в результате характеристики механическими свойствами (модуль упругости, напряжение, соответствующее пределу пропорциональности и др.).

По результатам анализа зарубежных и отечественных стандартов [2–6] для наклеиваемых, привариваемых преобразователей можно выделить основные методы передачи единицы:

- на основе изгиба балки постоянного сечения по схеме чистого изгиба;
- на основе изгиба балки равного сопротивления изгибу;
- сличение с показаниями экстензометра, установленного на балке подвергающейся растяжению.

Наибольшее распространение в нашей стране нашел способ с применением установок чистого изгиба,

так как использование гипотезы Бернулли [7] позволяет с достаточно высокой точностью рассчитать деформацию верхних и нижних волокон балки, обладая информацией об ее прогибе и размерах поперечного сечения. Для измерений прогиба используют высокоточные датчики перемещений, с высокой точностью определяют длину базы прогибомера и параметры поперечного сечения балки, то есть все, входящие в уравнение измерений параметры, тогда как влияние дополнительных факторов на результат измерений, как правило, не оценивается. Современные международные стандарты в области менеджмента качества продукции и услуг, в том числе испытательных и калибровочных лабораторий, предусматривают полный количественный анализ всех влияющих на результаты измерений факторов. И межлабораторные сравнительные испытания (МСИ) – являются эффективным способом оценки качества результатов измерений деформации помимо оценки качества компетентности лабораторий.

Проведение межлабораторных сличительных испытаний

В 2019 г. ФГУП «УНИИМ» (г. Екатеринбург), являющийся аккредитованным провайдером межлабораторных сличительных испытаний (аттестат аккредитации RA.RU.430158 от 23 сентября 2016 г.), в рамках исследовательской работы «Развитие метрологического обеспечения в области измерений деформации на основе новых методологических и технических подходов» провел межлабораторные сличительные испытания средств измерений деформации.

В качестве участников были приглашены лаборатории, оснащенные установками чистого изгиба. Всего разослано около 15 приглашений. Многие лаборатории оказались не готовы участвовать по техническим причинам (установки в нерабочем состоянии) или по причине отсутствия квалифицированного персонала. В качестве участников раунда выступило пять лабораторий.

В качестве образцов для испытаний были выбраны фольговые тензорезисторы. Для целей минимизации влияния неоднородности образца, обусловленной технологией конкретного производителя, образец сличений представлял собой две группы одиночных тензорезисторов по 12 штук производства Hottinger Baldwin

Messtechnik (HBM), Германия и Zhonghang Electronic Measuring Instruments Co., Китай.

Каждый участник МСИ должен был определить коэффициент чувствительности тензорезисторов, который определяется посредством монтажа тензорезисторов на балку с последующим ее изгибом до значений относительной деформации 1000 млн^{-1} . В основу методики расчета и определения характеристики тензорезистора была взята методика определения чувствительности, изложенная в документе ГОСТ 21616–91 [2].

Коэффициент чувствительности устанавливает связь между деформацией тензорезистора и изменением его сопротивления. Измерение деформации балки, на которой смонтированы тензорезисторы, производится каждым участником в соответствии с документацией на применяемые установки чистого изгиба.

Инструкцией для участника схемы проведения МСИ установлены:

- метод воспроизведения деформации;
- схема монтажа и подключения тензорезисторов;
- алгоритм расчета коэффициента чувствительности.

Приписанные значения устанавливались по согласованному значению от участников согласно приложению В ГОСТ ISO/IEC17043–2013 [8]. Значения метрологических характеристик образца рассчитаны как робастные средние значения результатов измерений, полученные участниками. Данный метод был выбран как эффективный и высоко устойчивый к выбросам. В качестве статистического показателя для оценки

результатов участников выбран E_p – индекс в соответствии с 9.7 ГОСТ Р 50779.60–2017 [9]. Схема раунда параллельная.

Полученные результаты

Графическое представление результатов участников и расширенные неопределенности их результатов измерений (расширенная неопределенность измерений участников учитывает только случайную составляющую) представлены на рис. 1. На графике также приведены приписанные значения характеристики образцов и их расширенная неопределенность.

Обсуждение и заключение

Проведенные испытания показали, что большая часть лабораторий-участников получила удовлетворительные результаты измерений, что свидетельствует о хорошем уровне технической компетентности.

По результатам анализа протоколов, предоставленных участниками, провайдер отметил следующее:

- четыре участника не предоставили метрологические характеристики используемого оборудования и средств измерений;
- некоторые участники не представили результаты измерений в нужном виде согласно инструкции;
- один участник неверно рассчитал среднее квадратическое отклонение чувствительности в группе.

На рис. 1 видно, что оба графика с результатами измерений по двум разным группам тензорезисторов

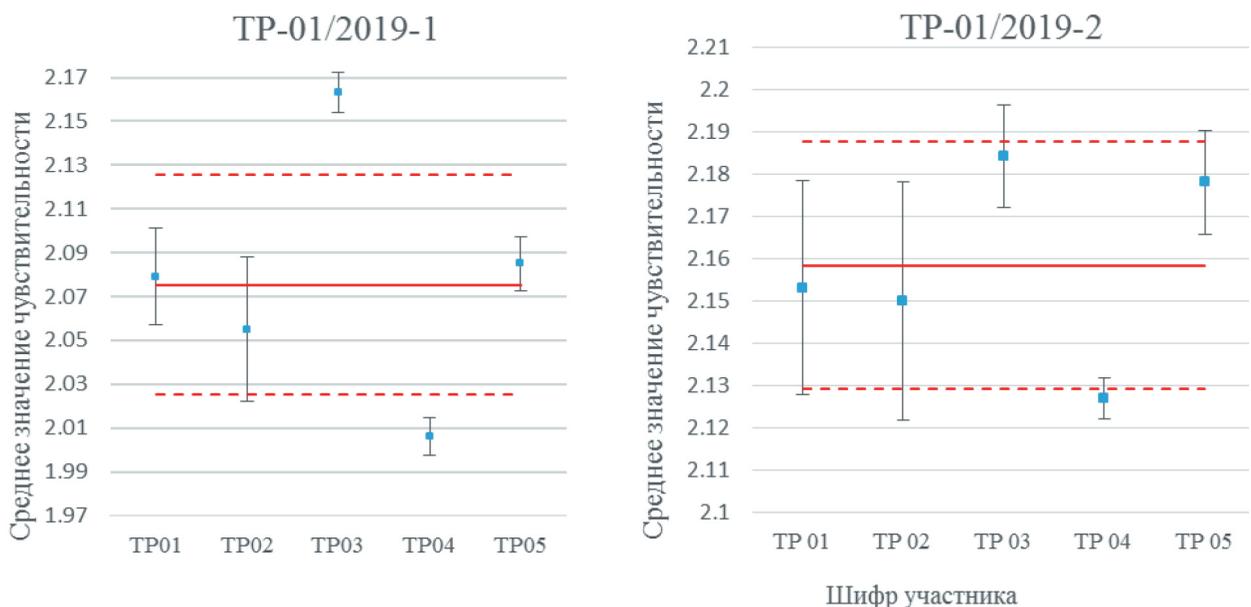


Рис. 1. Результаты проведения испытаний в области измерений деформации, полученные участниками раунда МСИ
Fig. 1. The results of tests in the field of deformation measurement obtained by the participants of the round of the interlaboratory comparisons

имеют общий характер относительного расположения результатов измерений участников, что свидетельствует о наличии систематического сдвига в измерениях лабораторий, вероятно, это обусловлено ошибкой при измерении деформации балки.

Анализ результатов участия всех лабораторий в МСИ позволяет объективно взглянуть на полученные результаты испытаний, оценить уровень не только конкретной лаборатории в ряду лабораторий аналогичного профиля, но и уровень метрологического обеспечения средств измерений деформации, принять необходимые меры и выработать стратегию улучшения. Так, при использовании косвенных измерений относительной деформации, воспроизводимой на поверхности балки, очевидна необходимость разработки и аттестации методик измерений для средств воспроизведения деформации при их аттестации в качестве рабочих эталонов или испытаний в целях утверждения типа.

Вклад соавторов

Шимолин Ю. Р.: концепция и инициация исследования, критический анализ текста, анализ литературных данных на иностранных языках.

Трибушевская Л. А.: курирование экспериментальных исследований, проверка правильности расчета результатов, анализ литературных данных, подготовка первоначального варианта текста статьи, компьютерная работа с текстом, написание текста, доработка текста.

Остроухова Л. А.: получение экспериментальных данных, сбор литературных данных, в том числе на иностранных языках.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы ОКР «Развитие метрологического обеспечения в области измерений деформации на основе новых методологических и технических подходов», шифр «Деформация».

Авторы выражают благодарность участникам раунда за проведение экспериментальных исследований, получение массива статистических данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Положения о единицах величин, допускаемых к применению в Российской Федерации (с изменениями и дополнениями): Постановление правительства Рос. Федерации от 31 октября 2009 г. № 879 // Российская газета. 2015. 19 августа.
2. ГОСТ 21616–91 Тензорезисторы. Общие технические условия. М.: Комитет стандартизации и метрологии, 1991.
3. ASTM E251–92 Standard Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages.
4. AIA/NAS942 1964 Aerospace Industries Association of America Inc. Strain gages, bonded resistance.
5. BS6888:1988 Methods for calibration of bonded electrical resistance strain gauges.
6. COMPETITIVE AND SUSTAINABLE GROWTH (GROWTH) PROGRAMME. Contract for Shared-cost RTD Standardization Project for Optical Techniques of Strain measurement (SPOTS) standard.
7. Композиционные материалы: В 8 т. пер. с англ./ Под ред. Л. Браутмана и Р. Крока. М.: Машиностроение, 1978. Пер. изд.: Composite Materials/ Нью-Йорк, 1975. Т. 7. Анализ и проектирование конструкций. Часть 1/ Под ред. К. Чамиса. 1978. 300 с.
8. ГОСТ ISO/IEC17043–2013 Оценка соответствия. Основные требования к проведению проверки квалификации. М.: Стандартиформ, 2014.
9. ГОСТ Р 50779.60–2017 (ISO 13528:2015) Статистические методы. Применение при проверке квалификации посредством межлабораторных испытаний. М.: Стандартиформ, 2017.

REFERENCE

1. Ob utverzhdenii Polozheniia o edinitsakh velichin, dopuskaemykh k primeneniiu v Rossiiskoi Federatsii (s izmeneniiami i dopolneniiami) [On approval of the Regulation on units of quantities allowed for use in the Russian Federation (as amended and supplemented). Postanovlenie pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 31 oktiabria 2009 goda № 879 [Decree of the Government of the Russian Federation. Federation of October 31, 2009 No. 879]. In Russian newspaper, 19 August 2015. (In Russ.).
2. GOST 21616–91 Strain gauges. General specifications. Moscow, Komitet standartizatsii i metrologii, 2091. (In Russ.).
3. ASTM E251–92 Standard Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages.
4. AIA/NAS942 1964 Aerospace Industries Association of America Inc. Strain gages, bonded resistance.
5. BS6888:1988 Methods for calibration of bonded electrical resistance strain gauges.
6. COMPETITIVE AND SUSTAINABLE GROWTH (GROWTH) PROGRAMME. Contract for Shared-cost RTD Standardization Project for Optical Techniques of Strain measurement (SPOTS) standard.
7. Composite materials: In 8 vols. Moscow, Mechanical Engineering, 1978. (Russ. ed.: Ed. Brautman L., Krok R.).

8. GOST ISO/IEC17043–2013 Conformity assessment. Basic requirements for proficiency testing. Moscow, Standartinform, 2014 p. (In Russ.).
9. GOST R50779.60–2017 (ISO 13528:2015) Statistical methods. Use in proficiency testing by interlaboratory comparison. Moscow, Standartinform, 2017 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шимолин Юрий Романович – заведующий лаборатории метрологии измерений массы, силы и линейно-угловых величин Уральского научно-исследовательского института метрологии – филиала ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева». Российская Федерация, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: shimolin@uniim.ru

Трибушевская Лидия Александровна – заместитель заведующего лаборатории метрологии измерений массы, силы и линейно-угловых величин Уральского научно-исследовательского института метрологии – филиала ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева». Российская Федерация, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: Form233@uniim.ru

Остроухова Лидия Александровна – инженер первой категории лаборатории метрологии измерений массы, силы и линейно-угловых величин Уральского научно-исследовательского института метрологии – филиала ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева». Российская Федерация, 620075, г. Екатеринбург, ул. Красноармейская, 4
e-mail: Ostrouhova@uniim.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yuri R. Shimolin – head of the laboratory of metrology for measurement of mass, force and linear angular quantities of the UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology 4 Krasnoarmeyskaya str., Ekaterinburg, 620075, Russian Federation
e-mail: shimolin@uniim.ru

Lydia A. Tribushevskaya – deputy head of the laboratory of metrology for measurement of mass, force and linear angular quantities of the UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology 4 Krasnoarmeyskaya str., Ekaterinburg, 620075, Russian Federation
e-mail: Form233@uniim.ru

Lydia A. Ostroukhova – engineer of metrology for measurement of mass, force and linear angular quantities of the UNIIM – Affiliated Branch of the D. I. Mendeleev Institute for Metrology 4 Krasnoarmeyskaya str., Ekaterinburg, 620075, Russian Federation
e-mail: Ostrouhova@uniim.ru

