

РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

5. Качанов, В.К. Разработка ультразвуковых адаптивных методов и устройств для контроля изделий из полимерных материалов / В.К. Качанов, О.А. Казанцев, И.В. Соколов, А.Ю. Завьялов // Дефектоскопия. – 1989. – № 6. – С. 32–35.
6. Фомичев М.И. Система управления формой зондирующего импульса в приборах ультразвуковой диагностики / Дисс. канд. техн. наук. – М.: 2001.
7. Ефимов, В.Г. Ультразвуковой метод определения расхода в канальных изделиях

при двухстороннем истечении / В.Г. Ефимов, А.Г. Митин, А.П. Жуков // Утилизация ракетных двигателей на твердом топливе. Материалы Второй всероссийской научно-технической конференции. – Бийск: ФНПЦ «Алтай», 2001. – С. 68–71.

В.Г. Ефимов д.ф.-м.н., проф. **Ю.Н. Ложкова**, аспирант; **А.Г. Митин** к.т.н., доцент БТИ (филиал) АлтГТУ им. И.И. Ползунова; ФГУП «ФНПЦ «Алтай»», Бийск, тел: (3854)432331, e-mail: evg@bti.secna.ru

УДК 681.518:620.173.262 (0.45)

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБРАЗЦОВ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

М.Ю. Локтев, А.Я. Суранов, Д.А. Ермолаев, В.Ф. Савин, В.А. Абанин

Рассмотрены вопросы разработки автоматизированной системы для измерения механических характеристик стеклопластиковых стержней круглого сечения, реализующей испытания методом продольного изгиба для контроля серийно выпускаемой продукции.

Ключевые слова: Автоматизированная измерительная система, стеклопластиковый стержень, сила, деформация, модуль упругости, продольный изгиб.

Введение

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) являются современными перспективными материалами, с расширяющейся областью применения в различных областях: энергетике, строительстве, нефтедобывающей, горном деле и других. Постоянно разрабатываются новые виды изделий из ПКМ и увеличиваются объемы производства.

Для обеспечения конкурентной способности продукции необходимо постоянно совершенствовать методы и средства контроля механических характеристик образцов из ПКМ, а именно, достоверность результатов испытаний и оперативность их получения. Достоверная информация о комплексе механических характеристик образцов актуальна для оптимального проектирования конструкций из ПКМ и расчета их эксплуатационной надежности. Из анализа известных видов испытаний механических характеристик образцов из ПКМ следует, что в настоящее время отсутствует метод и средство хорошо адаптированные к испытаниям стеклопластиковых образцов круглого сечения для контроля механических характеристик продукции в производственных условиях [1].

Стандартные методы испытаний (ГОСТ 25.601-80, ГОСТ 11262-80 – на растяжение, ГОСТ 25.602-80, ГОСТ 4651-82 – на сжатие, ГОСТ 25.604-82, ГОСТ 4648-71 – на статический изгиб, ГОСТ 9550-81 – определение модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе), не всегда позволяют с требуемой точностью оценить механические характеристики материала и изделий из них. Особенно это проявляется для образцов круглого сечения из анизотропных материалов. Более прогрессивным методом испытаний образцов с указанными свойствами является продольный изгиб, который может использоваться для контроля механических характеристик ПКМ, как при разработке новой продукции, так и при промышленном выпуске [1-5].

Цель: разработка автоматизированной измерительной системы (АИС) для контроля механических характеристик стеклопластиковых стержней круглого сечения методом продольного изгиба.

Задачи:

- обоснование структуры АИС и соответствующего аппаратного обеспечения;

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБРАЗЦОВ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

- разработка бесконтактного способа измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны образца при изгибе;
- разработка программного обеспечения для управления АИС;
- проведение экспериментальных испытаний.

Объект контроля и метод испытаний гибких стержней продольным изгибом.

Объект контроля представляет собой гибкий прямой стержень постоянного круглого поперечного сечения диаметром 5,5 мм из однонаправленного армированного стеклопластика.

Понятие «гибкий стержень» предполагает способность стержня претерпевать большие изменения формы (изгибаться) без разрушения под действием внешней силовой нагрузки, направленной вдоль линии, соединяющей шарнирно закрепленные концы стержня, один из которых является подвижным.

При превышении внешней силы некоторого критического значения происходит потеря устойчивости, начинается сближение концов и изгиб образца вплоть до разрушения. На участке напряженно деформированного состояния стержня, когда наблюдается линейная зависимость между напряжением и деформацией стержня, определяются механические характеристики образца. Основными механическими характеристиками, определяющие надежность изделий из ПКМ, являются максимальное напряжение (σ), относительная деформация (ε) в крайних волокнах стержня от действия изгибающего момента и модуль упругости (E). Кроме того, проводится расчет дополнительных механических характеристик, являющихся производными от указанных выше.

Определение механических характеристик гибкого стержня основано на уравнениях теории упругости (1-3):

$$\sigma = \pm \frac{32 \cdot P \cdot f}{\pi \cdot d^3} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\rho} \quad (2)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3)$$

Характеристики (1)-(3) являются функциями геометрических размеров образца, силы сопротивления стержня внешней нагрузке (P), стрелы прогиба (f) и радиуса кривизны (ρ) среднего сечения напряженно-деформированного состояния стержня. Сле-

довательно, имея результаты прямых или косвенных измерений перечисленных аргументов, можно рассчитать механические характеристики ПКМ.

Особое место в списке аргументов механических характеристик занимают стрела прогиба f и радиус кривизны ρ . В используемой в настоящее время испытательной установке эти параметры определяются расчетным путем. Формулы расчета стрелы прогиба и радиуса кривизны приведены в [1] и представляют собой результат решения системы дифференциальных уравнений напряженно деформированного состояния стержня методом последовательной итерации и представляются как функции единственного параметра – сближения концов гибкого стержня после потери им устойчивости. Указанный способ расчета стрелы прогиба и радиуса кривизны базируется на предположении о линейной упругости гибкого стержня, в связи с этим область применения его ограничена контролем образцов ПКМ с линейными свойствами. Поэтому актуальной задачей является разработка метода непосредственного измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны, а также автоматизированных средств его практической реализации и использования в производственных условиях.

Новизна настоящей работы заключается в разработке бесконтактного метода прямого измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны, а также АИС его практической реализации для производственных условий. Разработка метода измерения рассматриваемых параметров учитывает требования, вытекающие из особенностей метода продольного изгиба, вида испытаний и свойств материала образцов. В частности, измерение силы сопротивления, стрелы прогиба и радиуса кривизны должны проводиться в динамическом режиме нагружения образца с частотой регистрации не менее 5 Гц, при этом обработка и отображение результатов осуществляться в темпе испытаний. Стрела прогиба и радиус кривизны образца необходимо определять в среднем сечении.

Автоматизированная измерительная система

Разработка АИС проводилась на базе действующей в ООО «Бийский завод стеклопластиков» испытательной установки.

На рисунке 1 приведена разработанная структурная схема АИС:

Для реализации метода продольного изгиба необходимо обеспечить измерение трех параметров: силы сопротивления образца продольному изгибу, стрелу прогиба и радиус

РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

кривизны стержня. Для измерения силы используется тензодатчик силы ДСТ1909 (категория точности 0,1). Для измерения прогиба и радиуса кривизны образца применяется цифровая веб-камера и программная обработка полученного изображения.

Программное обеспечение выполняет функцию управления испытанием стеклопластиковых образцов. Оно создает системную среду взаимодействия оператора со средствами АИС, осуществляет управление скоростью нагружения образцов и режимами работы АИС, обеспечивает регистрацию и обработку измерительной информации, расчет предусмотренных методикой испытания параметров, в том числе механических характеристик образца. На рисунке 1 приведена структурная схема АИС.

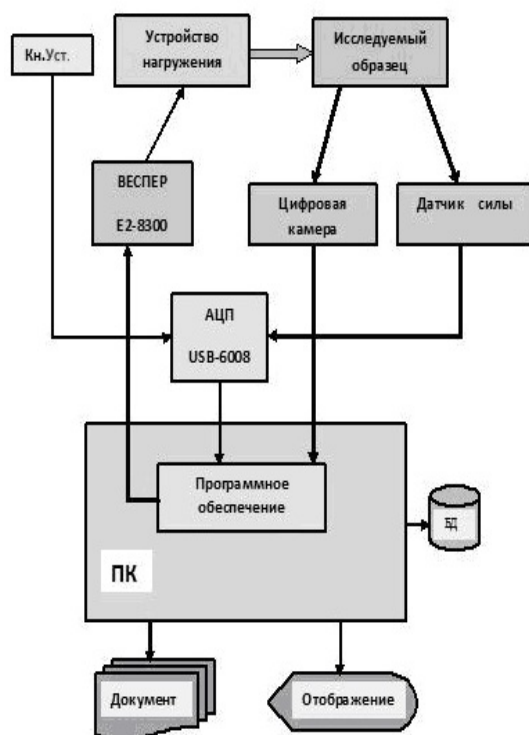


Рисунок 1 - Структурная схема АИС

В процессе испытания (в реальном времени) АИС выдает на экран монитора ПК сообщения в текстовом и графическом виде, содержащие необходимую для оператора информацию о диаграмме нагружения и основных измеряемых и расчетных характеристиках образца. После завершения испытания образца распечатывается протокол, форма и содержание которого соответствует требованиям ТУ или другому регламентирующему документу. Дополнительно результаты испытаний сохраняются в базе данных для хранения.

Методика бесконтактного измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны образца.

Из анализа литературных источников по методам и средствам измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны установлено, что наиболее перспективно использовать бесконтактные методы измерений. Наибольшее распространение среди бесконтактных методов получили оптические методы измерения криволинейных контуров и поверхностей, фотограмметрические и оптико-цифровые методы [6,7]. Суть разработанного метода определения стрелы прогиба и радиуса кривизны заключается в следующем: в процессе испытания в компьютер с определенным временным интервалом передается изображение стержня, зарегистрированное с помощью видеокамеры. В пределах каждого из этих интервалов осуществляется компьютерная обработка изображения, результатами которой являются измеренные по изображению стрела прогиба и радиус кривизны изогнутой продольной оси образца. По совокупности всех кадров, полученных в пределах времени испытания образца, формируются дискретные временные зависимости которые в последующем используются для расчета по формулам (1), (2) соответственно в механическое напряжение и деформацию.

При практической реализации способа определения стрелы прогиба и радиуса кривизны выделены два этапа: калибровка АИС и испытание образцов. Калибровка проводится перед началом процесса измерения. Результатами калибровки являются коэффициенты масштабирования с размерностью мм/пиксель, применяемые во всех последующих испытаниях образцов до тех пор, пока не изменяются условия, приводящие к пространственным искажениям (характеристики видеокамеры, условия ее настройки, взаимное расположение камеры и контролируемого образца, характер освещения объекта). Если какие-либо из перечисленных условий изменяются, то калибровку необходимо повторить.

Этап испытания включает три режима: подготовка, измерение и вторичная обработка. В пределах выполнения всего этапа испытания образца непрерывно осуществляется измерение, регистрация, обработка и отображение силы сопротивления этого образца.

Типичный график изменения силы сопротивления контролируемого образца в процессе его испытания от времени приведен на рисунке 2.

В процессе испытания образца отмечаются три основных характерных участка: уча-

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОБРАЗЦОВ КРУГЛОГО СЕЧЕНИЯ МЕТОДОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

сток начала нагружения, рабочий участок и участок разрушения.

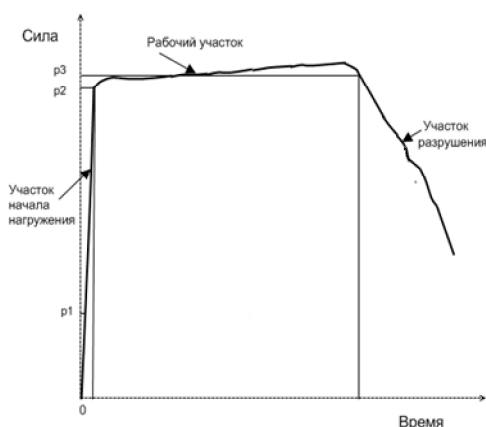


Рисунок 2 – График зависимости силы сопротивления образца внешней силовой нагрузке при продольном изгибе в процессе испытаний

Участок начала нагружения характеризуется сравнительно быстрым нарастанием силы сопротивления образца действующей на него внешней силовой нагрузки, при этом образец еще находится в устойчивом состоянии (изгиб отсутствует). На данном участке проводится регистрация и обработка изображения стержня в режиме *подготовки* с целью определения начального положения продольной оси.

Рабочий участок графика соответствует состоянию потери устойчивости образца. В пределах этого участка происходит малое изменение силы при значительном взаимном перемещении концов стержня, что соответствует продольному изгибу тонких упругих стержней. Рабочий участок используется в режиме измерения для определения стрелы прогиба и радиуса кривизны напряжено деформированного состояния образца, а также расчета механических характеристик.

Участок разрушения образца характеризуется резким или плавным снижением силы сопротивления. Форма и протяженность этого участка зависит от характера разрушения (при разрушении по растянутым волокнам этот участок, как правило, более протяженный, чем при разрушении по сжатым волокнам). Данный участок не является информативным с точки зрения расчета прочностных характеристик образца.

В режиме вторичной обработки осуществляется расчет модуля упругости, предельные значения прочности и деформации и ряд других. Модуль упругости рассчитывается по формуле (3) и представляет собой тангенс

угла наклона прямой напряжение-деформация.

Другие вторичные характеристики контролируемого образца рассчитываются в соответствии с требованиями нормативной документации на изделия.

Экспериментальная часть исследований.

Для подтверждения адекватности характеристик полученных разработанной АИС были проведены сравнительные испытания. Для сравнительных испытаний была отобрана партия стеклопластиковых стержней. Испытания проводились на установке для продольного изгиба на базе которой разрабатывалась АИС. Система позволяет параллельно в процессе опыта вести расчет стрелы прогиба и радиуса кривизны расчетным, описанным в [1] и разработанным бесконтактным способом. Одновременный расчет механических характеристик двумя способами позволяет объективно оценить расхождения, полученные при испытании в одних условиях и исключает влияние на результат испытания технологических разбросов изготовления стержня.

По результатам испытаний среднее значение результата измерения бесконтактным методом относительно стрелы прогиба образца, определенной по ранее действующей методике для линейного участка не превышает 2%, что подтверждает правильность подхода к определению стрелы прогиба.

Расхождения радиусов кривизны при испытании образцов наблюдаются в зоне близкой к разрушению. Это связано с тем, что при использовании расчетных выражений для определения радиуса кривизны образцов предполагается, что они линейно-упругие, а в этой зоне данное допущение реально не выполняется.

Из анализа результатов сравнительных испытаний установлено: в линейной расчетной зоне испытания дают близкие результаты, что дает основание утверждать о правильном подходе к определению стрелы прогиба и радиуса кривизны, и, соответственно, и достоверности результатов контроля механических характеристик стеклопластиковых образцов.

Выводы

Разработана и внедрена в испытательной лаборатории ООО «Бийский завод стеклопластиков» автоматизированная измерительная система с расширенными функциями контроля методом продольного изгиба механических характеристик стеклопластиковых образцов круглого сечения на участках, как с

РАЗДЕЛ V. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ.

линейными, так и нелинейными упругими свойствами.

Функции АИС расширены на основе применения бесконтактного метода измерения стрелы прогиба и радиуса кривизны образцов в процессе испытаний.

Разработанное программное обеспечение позволило автоматизировать процесс испытаний, что повышает надежность, оперативность получения результатов испытаний, исключает субъективный фактор при расчетах и обеспечивает документирование результатов испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытания упругих стержней методом продольного изгиба [Текст]: монография / под ред В.Ф. Савина [и др.]. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. – 222 с.
2. Дарков А. В. Сопротивление материалов : изд. 3-е. [Текст] / Дарков А. В., Шпиро Г. С. – М.: Высшая школа, 1969. – 734 с.: ил.
3. Блазнов А.Н. Исследование устойчивости стеклопластиковых стержней [Текст] / А.Н. Блазнов, Ю.П. Волков, А.Н. Луговой, В.Ф. Савин // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных

исследованиях: Межвузовский сборник. – Барнаул, АлтГТУ, 2002. – С. 153

4. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней [Текст] / Е.П. Попов. – М.: Наука, 1986. – 290 с.
5. Анфилофьев А.В. Стрела прогиба и сближение концов стержня в продольном изгибе [Текст] / А.В. Анфилофьев. – ПМТФ, 2001. – 188 с.
6. Сергеенко А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергеенко. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
7. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – Москва, Техносфера, 2005. – 1072 с.: ил.

Аспирант **М.Ю. Локтев**, Loktev-BZS@mail.ru, - Бийский технологический институт; доцент **А.Я. Суранов**, к.т.н.; студент 2-го курса магистратуры **Д.А. Ермолаев**, – Алтайский государственный университет, кафедра радиофизики и теоретической физики, (385-2)36-70-61, alexander.suranov@yandex.ru; начальник испытательной лаборатории **В.Ф. Савин**, к.т.н., Savin@BZS.ru, (385-4)44-26-55 – Бийский завод стеклопластиков; проф., главный метролог, **В.А. Абанин**, д.т.н., 8-923-646-53-78, aba@bti.secna.ru - Бийский технологический институт.

УДК 681.518.5: 004.932

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ

А.С.Бессонов

Обсуждаются вопросы создания автоматизированных систем, предназначенных для визуального контроля оптических деталей при производстве средств измерений. Особое внимание уделяется разработке программного обеспечения. Описывается конкретный пример прикладной программы.

Ключевые слова: автоматизированная система, визуальный контроль, оптическая деталь, обработка изображений, программное обеспечение, среда программирования LabVIEW, функции IMAQ Vision.

Введение

При производстве точных оптических и оптико-электронных средств измерений осуществляется сложный многоступенчатый контроль их элементов. Среди используемых методов центральное место занимает визуальный контроль, позволяющий определить чистоту обработки поверхностей оптических деталей, равномерность напыления зеркальных слоев, провести проверку на отсутствие различных механических дефектов (сколов, царапин) и т.д.

В течение многих лет визуальный контроль не был автоматизирован, и выполнялся

вручную с помощью оптических микроскопов. Однако с появлением в последние годы доступных цифровых микроскопов, оснащенных компьютерными интерфейсами, и программных средств обработки изображений автоматизация контроля поверхностей оптических деталей может осуществляться в полной мере. Некоторые особенности разработки автоматизированных систем такого рода рассмотрены в данной статье.

Средства автоматизации систем визуального контроля

Автоматизированные системы контроля поверхностей оптических деталей относятся к