

Уменьшение этих основных параметров будет отрицательно сказываться на возможности использования данного вида подвеса в предполагаемой сфере применения. Поэтому, основным решением по уменьшению влияния момента вязкого трения является введение газовой среды. Это позволит снизить величину аэродинамического сопротивления и ускорить процессы теплоотвода, а также позволит обеспечить построение надежной чувствительной системы с удовлетворительными показателями точности.

Исследования основных статических характеристик газодинамической опоры шарового гироскопа показывают сходимость результатов математического и натурального моделирования [1], поскольку и в том и в другом случае было установлено, что эффективность такой реализации не высока в части несущей способности и, очевидно, чувствительности гироскопического прибора как инерциального датчика. Необходимо отметить, что геометрические погрешности поверхностей ротора и полусферических чаш в модели не учитывались. Дальнейшие исследования будут направлены на отработку физико-математической модели, оптимизацию конструкции и параметров шарового гироскопа, а также на решение ряда других вопросов, касающихся оценки затрат и достижения приемлемых результатов.

#### **Список использованных источников**

1. А.А. Кузьма, М.С. Плеханов, А.Н. Голиков. Разработка и некоторые исследования элементов для гироскопа с газодинамическим подвесом шарового ротора // Контроль. Диагностика №13, 2012 г.
2. И.В. Яковлев. Статические характеристики сферических газодинамических опор // сборник трудов МАИ «Исследование вибраций, прочности и конструкции деталей авиадвигателей». М., «Машиностроение», 1968.
3. Дубинин А.В., Смолян К.В. Зависимость несущей способности газодинамической опоры динамически настраиваемого гироскопа от зазоров в газодинамической опоре // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2012.
4. Голиков А.Н., Плеханов М.С., Кузьма А.А. Контроль геометрии элементов газодинамического подвеса шарового ротора // Электронные и электромеханические системы и устройства: тез. докл. науч.-техн. конф. Молодых специалистов, ОАО «НПЦ Полус». – Томск, 2013.

### **СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ ИЗ НЕМЕТАЛЛОВ ПО РАЗНЫМ КЛАССАМ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ**

*Калиниченко Н.П., Лобанова И.С., Калиниченко А.Н., Могильницкий В.С.*  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Капиллярные методы нашли широкое применение в неразрушающем контроле, при контроле ответственных деталей в авиастроении, энергетике, машиностроении и прочих отраслях хозяйства.

Основными средствами при проведении капиллярного контроля являются дефектоскопические материалы и контрольные образцы.

Разновидности образцов, используемых в разных странах, примерно одинаковы. Образцами служат забракованные детали с естественными трещинами, либо пластины, диски и другие изделия с преднамеренно образованными трещинами. Наиболее широко применяют образцы в виде пластин с хрупким металлическим, гальваническим или химическим покрытием либо с поверхностью, упрочненной химико-термической обработкой – азотированием. Трещины получают деформацией образцов путем изгиба или растяжения, либо вдавливанием пуансона с цилиндрической или сферической формой

контактной поверхности. [1]. Получаемые параметры трещин, такие как ширина раскрытия, длина и глубина, которая, как правило, равна толщине азотированного слоя, измеряют и заносят в паспорт [2].

Недостатками таких образцов является то, что трещины в азотированном слое возникают в непредсказуемых местах с неопределенной плотностью распределения на единицу поверхности контрольного образца, их число и расстояние между ними не определено. Также исключена возможность изготовления образца, содержащего ряд дефектов с определенной закономерностью ширины раскрытия и глубины от прилагаемой нагрузки. Непостоянство возникающих в образце напряжений вызывает переменную глубину и ширину раскрытия трещин по их длине. Изгиб эталона в процессе его нагружения приводит к его искривлению (так как он приобретает некоторую остаточную деформацию), что, в свою очередь, приводит к произвольному изменению ширины раскрытия трещин по длине. Кроме того, в вышеописанных контрольных образцах затруднена оценка качества очистки полостей дефектов от полимеризующихся остатков, многократно применяемых дефектоскопических материалов, отсутствует возможность визуализации физических процессов происходящих при реализации технологии капиллярного контроля. А так как капиллярные методы позволяют диагностировать изделия, изготовленные из любых материалов, в том числе из стекла, керамики, пластмасс, целесообразно было бы иметь контрольные образцы, которые были бы свободны от вышеуказанных недостатков.

В настоящее время появилась информация о неметаллических контрольных образцах с заданными параметрами дефектов [3]. Такие образцы просты и дешевы в изготовлении, дефекты получаются с заданными параметрами, отсутствует коррозия материала при очистке образцов, а остатки дефектоскопических материалов, оставшиеся в полости дефекта, легко заметны. Последнее обстоятельство позволяет более качественно производить очистку образцов, что в свою очередь продлевает срок их эксплуатации.

Существует еще одна проблема, связанная с тем, что при проверке дефектоскопических материалов по каждому классу чувствительности необходимо использовать по два контрольных образца (рабочий и арбитражный) с трещинами одинакового характера и примерно равных размеров. Однако в настоящее время на рынке представлены контрольные образцы с одной трещиной. Соответственно, согласно ГОСТ 18442-80 [4] необходимо иметь как минимум шесть контрольных образцов, по трем, наиболее ответственным классам чувствительности.

Предложенный авторами вариант способа изготовления неметаллических контрольных образцов позволяет решить эту проблему. Способ изготовления реализуется следующим образом.

На двух противоположных сторонах прямоугольной формы 1, как показано на рис. 1, прорезаются пазы 2 одинаковой глубины перпендикулярно основанию формы 1. Пазы необходимы для размещения в них полосок фольги 4, как показано на рис. 1, предварительно покрытых тонким слоем эпоксидного клея 5. Форма 1 перед заливкой эпоксидного раствора смазывается изнутри техническим вазелином с целью свободного отделения впоследствии затвердевшего эпоксидного бруска 8, как показано на рис. 3 от формы 1.

Полоски фольги 4 устанавливаются в пазы 2 формы 1 и форма заливается приготовленным эпоксидным клеем 3 таким образом, чтобы нижняя часть полосок фольги 4 была погружена в эпоксидный клей на 1-2 мм, а верхние части 7 – остаются не залитыми. После полного затвердевания эпоксидного клея полученный брусок 8 извлекается из формы, как показано на рис. 2.

Затем производится механическая обработка (шлифовка, полировка) поверхности 9, из которой выходят не залитые части полосок фольги 4.

Так как обработанный образец является практически прозрачным, то существует возможность контроля ширины  $h'$  оставшихся нижних частей полосок фольги, согласно рис. 3, которые, в конечном итоге, будут определять глубину  $h''$  дефекта.

После получения требуемых параметров (необходимой шероховатости поверхности 9, как показано на рис. 3, ширины  $h'$  остающихся нижних частей 6 полосок фольги 4), эпоксидный брусок помещают в ванночку и полностью заливают его раствором на основе хлорного железа. В результате травления получают дефекты с шириной раскрытия  $t_i$ , глубиной  $h_i'$ , длиной  $l_i$ , где  $i=1,2,3$  – номер дефекта.

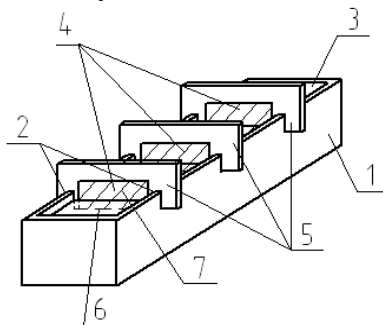


Рис. 1. Форма для контрольного образца, залитая эпоксидным клеем, с установленными полосками фольги, покрытыми тонким слоем эпоксидного клея

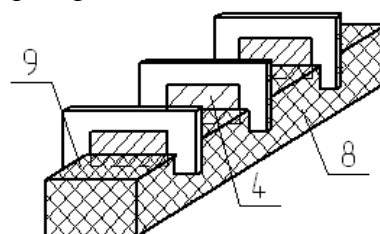


Рис. 2. Эпоксидный брусок после затвердевания

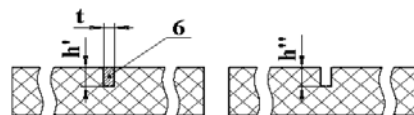
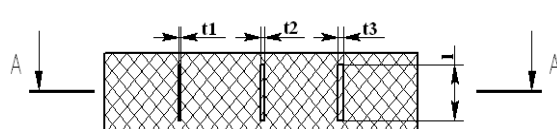


Рис.3. Контрольный образец с трещинами шириной раскрытия  $t_1, t_2, t_3$ , глубиной  $h'$  и длиной  $l$  до и после травления

Для получения дефектов с раскрытием по II и III классам чувствительности использовалась алюминиевая фольга 7 и 20 мкм соответственно. Для получения дефектов по первому классу чувствительности использовалась поталь – имитатор сусального золота. Ширина раскрытия в этом случае составляла около 1,0 мкм. Контроль ширины раскрытия, полученных дефектов, производился на металлографическом микроскопе. Длина  $l$  получаемых дефектов была равна длине применяемых полосок фольги 4 и определялась длиной индикаторных следов после осуществления технологического процесса капиллярного контроля с применением дефектоскопических материалов фирмы Sherwin [5].

Однако, существуют определенные трудности в технологическом процессе: изготовление контрольных образцов с раскрытием до 1 мкм, а также образование пузырьков воздуха в эпоксидном клее, которое в итоге ухудшает качество рабочей поверхности контрольного образца. Частично устранить пузырьки из эпоксидного клея можно путем вакуумирования, воздействием ультразвука или нагреванием, либо используя обратную сторону полученного бруска [6, 7].

Были проведены испытания на многократность использования контрольных образцов. Технологический процесс капиллярной дефектоскопии проводился 80 раз. Также проведены исследования, связанные с воздействием температуры в диапазоне от 25 до 40 °С на ширину раскрытия дефектов. Полученные результаты показали, что ширина трещин в указанном диапазоне практически не изменилась [6].

#### Список использованных источников

1. Глазков Ю.А., Особенности аттестации контрольных образцов для капиллярной дефектоскопии // Дефектоскопия – 2004 – №9 – С. 74–84
2. ГОСТ Р ИСО 3452-3-2009 Контроль неразрушающий. Проникающий контроль. Часть 3. Испытательные образцы
3. Kalinichenko N. P., Kalinichenko A. N., Konareva I. S. Reference specimens of nonmetallic materials for penetrant nondestructive testing // Russian Journal of Nondestructive Testing– 2011– V.47– №. 10 – PP. 663–666
4. ГОСТ 18442-80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования
5. Калиниченко Н. П. , Калиниченко А. Н. , Лобанова (Конарева) И. С. Универсальный контрольный образец для капиллярной дефектоскопии // Контроль. Диагностика– 2012 – №. 11(173)– С. 34–36
6. Калиниченко Н.П., Конарева И.С., Борисов С.С., Дерик А.Я., Метрологические и эксплуатационные характеристики контрольных образцов для капиллярной дефектоскопии из неметаллических материалов// Вестник науки Сибири [электронный ресурс] <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/436/376>
7. Калиниченко Н. П. , Калиниченко А. Н. , Лобанова (Конарева) И. С. , Попова А. Ю. , Борисов С. С. Технология изготовления и исследование образцов для испытаний средств капиллярного неразрушающего контроля из неметаллов // Измерительная техника– 2014– №. 5– С. 8–11

### АНАЛИЗ ВКЛАДА КОМПТОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ В ЗАДАЧАХ ИЗМЕРЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ РАДИАЦИОННО – ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

*Капранов Б.И., Мудров М.А.*  
ФГАОУ ВО НИ ТПУ

Радиационно – защитные покрытия широко используются в авиационной и космической технике для защиты от воздействия ионизирующих излучений. Наиболее актуален этот вопрос в приборостроении, в частности, в задачах повышения надежности эксплуатации электронной аппаратуры в условиях внешнего облучения рентгеновским излучением.

Для защиты на приборные отсеки наносится покрытие, эффективно ослабляющее рентгеновское излучение в области энергий до 100 кэВ. Как правило, к таким покрытиям предъявляется требование механической прочности и максимальной эффективности ослабления при минимальном весе. Для обеспечения этих требований разрабатываются составы покрытий [1], способы изготовления или нанесения [2], способы измерения ослабляющих свойств [3]. Чаще всего такие покрытия изготавливаются на основе использования материалов РЗК – 6 и РЗО – 4, содержащих оксиды редкоземельных элементов [4, 5]. Их эффективность обеспечивается тем, что  $K$  – скачки поглощения располагаются в области энергий до 100 кэВ. Результирующий коэффициент ослабления оказывается выше, чем коэффициент ослабления для этих энергий у свинца. При этом плотность такого материала меньше, чем плотность свинца.

Для контроля качества таких покрытий чаще всего используют флуоресцентный метод, основанный на облучении комбинации покрытие – основание первичным  $\gamma$  – или рентгеновским излучением и регистрации интенсивности потока флуоресцентных квантов из элементов покрытия. Измеряемым параметром при этом является поверхностная плотность  $\rho$ , измеряемая в  $\text{г/см}^2$ . С увеличением поверхностной плотности интенсивность