

Рисунок 3 – Динамика вертикального распределения температуры воздуха в центре комнаты с источником пожара (а) и в смежной комнате (б) при пожаре с источником на высоте 1.35 м: высота 0,1 (1), 0,6 (2), 1,1 (3), 1,6 (4), 2,1 (5) и 2,6 м (6) от уровня пола

Из рисунков 2а, б и 3а, б видно, что при увеличении высоты расположения источника пожара до 1.35 м увеличиваются и абсолютные значения температур и их градиенты увеличиваются в обеих комнатах. Так, вертикальный градиент температуры в комнате с источником на конец моделирования достигает 230 °С, в смежной комнате – 75°С.

УДК 531.385

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ВОЛНОВОГО ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ГИРОСКОПА (ВТГ) С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Распопов В.Я.

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», Тула, Российская Федерация

Волновой твердотельный гироскоп является одним из наиболее перспективных приборов, предназначенных для определения угла и угловой скорости вращения объекта по соотношению: себестоимость изготовления/точность получаемой инерциальной информации [1, 2].

### 1. Конструкция ВТГ

В общем случае конструкция ВТГ включает в себя чувствительный элемент (резонатор), устройства возбуждения колебаний (актюаторы), устройства информации (датчики перемещений), сервисную электронику, а также корпусные, опорные и вспомогательные детали [патенты на изобретения RU 2182312, RU 2185601 и др.].

В актюаторах ВТГ могут использоваться следующие способы возбуждения колебаний: элек-

тродинамический, электромагнитный, индукционный, пьезоэлектрический и акустический. Выбор принципа возбуждения колебаний определяется, как правило, исходя из предполагаемых условий эксплуатации прибора и тактико-технических характеристик, предъявляемых к нему.

В датчиках перемещений могут применяться емкостный, пьезоэлектрический, индукционный, электромагнитный, на ПАВ принципы измерений [3, 4].

Достижение требуемых характеристик ВТГ обеспечивается, главным образом, качеством изготовления резонатора [5, 6].

### 2. Резонатор

2.1. Особенности конструкции. Известны: полусферическая, тороидальная (полуасфериче-

следует отметить, что и в горизонтальных плоскостях на всех высотах распределение температуры воздуха на начальном этапе пожара также неоднородное. Однако различия в температурах по горизонтали значительно меньше, чем по вертикали.

Неоднородное пространственное распределение температуры воздуха в помещениях обусловлено протекающими в них газодинамическими процессами, вызываемыми неоднородным распределением изменения давления воздуха в помещениях, обеспечивающим заполнение помещений горячим воздухом и дымом.

Наличие такой пространственной неоднородности температуры воздуха свидетельствует о том, что применение интегральных и зонных моделей пожаров для предсказания значений температуры воздуха в рассматриваемых помещениях на начальном этапе пожара является некорректным, так как может привести к большим ошибкам при расчетах времен для безопасной эвакуации людей. Для таких целей следует использовать полевую модель пожара.

Литература

1. Drysdale D. An Introduction for Fire Dynamics. – Third edition. Willey, 2011. – 551 p.
2. Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide Volume 1: Mathematical model, NIST Special Publication 1018-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 94 p.
3. Fire Dynamics Simulator (Version 5). User's Guide, NIST Special Publ. 1019-5 / K. McGrattan [et al.]. – Gaithersburg, MA, 2009. – 174 p.

тростатический, электромагнитный, индукционный, пьезоэлектрический и акустический. Выбор принципа возбуждения колебаний определяется, как правило, исходя из предполагаемых условий эксплуатации прибора и тактико-технических характеристик, предъявляемых к нему.

В датчиках перемещений могут применяться емкостный, пьезоэлектрический, индукционный, электромагнитный, на ПАВ принципы измерений [3, 4].

Достижение требуемых характеристик ВТГ обеспечивается, главным образом, качеством изготовления резонатора [5, 6].

### 2. Резонатор

2.1. Особенности конструкции. Известны: полусферическая, тороидальная (полуасфериче-

ская с плоским торцем) и цилиндрическая оболочечные формы резонаторов. Полусферическая и, отчасти, тороидальная формы резонаторов обладают важным свойством краевой локализации колебаний вблизи свободной кромки резонатора. Цилиндрический резонатор более прост в изготовлении, но в цилиндрической оболочке наблюдается, так называемый, вырожденный краевой эффект, который проявляется в уменьшении колебаний при удалении от свободной кромки резонатора. Ослабление этого эффекта достигается применением конструкции составного резонатора, который со стороны кромки имеет цилиндрическую часть с большой толщиной по сравнению с цилиндрической частью, которую называют подвесом, сопрягаемой с донной частью резонатора. Составной резонатор обладает повышенной чувствительностью к потерям энергии колебаний в сопряжениях с донной частью и узлом крепления к основанию (корпусу).

Переходные радиусы скруглений и пропорции между размерами креплений являются важными параметрами проектирования резонатора с позиций увеличения его добротности и уменьшения термоупругих потерь в местах конструктивных сопряжений.

Увеличению добротности резонатора служит применение узла крепления в виде монолитной, или составной ножки, расположенной с внутренней стороны данной части резонатора («гриб»), либо с наружной («бокал»). Дополнительная «развязка» резонатора от корпуса может быть выполнена симметричной системой отверстий в донной части, или круговой выточкой.

Аналогично может быть выполнена «развязка» от корпуса резонатора с внешней фланцевой (кольцевой) опорой.

**2.2. Добротность.** Добротность резонаторов, выполненных в виде тонкостенных оболочек, оказывается низкой, так как в этом случае энергия колебаний превращается в тепловую за счет переноса тепла между зонами с различной температурой. При изгибных колебаниях внешние и внутренние слои металла оболочки испытывают различные деформации: если внешние слои растягиваются, то внутренние сжимаются и наоборот. Локальная деформация материала приводит к изменению температуры. При сжатии материала локальная температура повышается, а при растяжении уменьшается. Как и деформация, эти температурные изменения будут различны для внешних и внутренних слоев материала: если в некоторый момент времени температура внешних слоев повышается, то при этом температура внутренних уменьшается и наоборот. Между областями оболочки резонатора, которые имеют разную локальную температуру, возникают тепловые потоки, которые и представляют собой потери энергии колебаний и которые приводят к

низкой добротности резонатора и, как следствие, к снижению тактико-технических характеристик ВТГ. Чтобы уменьшить интенсивность термоупругих потерь и повысить добротность резонатора можно использовать металлы с низким коэффициентом теплового расширения, либо изменить конструкцию резонатора таким образом, чтобы существенно увеличить характерную толщину колеблющейся части резонатора. Это увеличит время тепловой релаксации и сдвинет максимум термоупругих потерь в область низких частот.

**2.3. Дефекты изготовления.** Дефекты изготовления резонатора приводят к расщеплению собственной частоты его рабочих колебаний по второй форме деформации на две близкие частоты. Каждой из этих частот соответствуют колебания также по второй форме, но с определенной ориентацией волны относительно резонатора. Собственная ось резонатора, вдоль которой волна имеет наибольшую частоту, называется легкой, а ось, вдоль которой волна имеет наименьшую частоту, называется тяжелой. Такой дефект характеризуется разными значениями частот и ориентацией собственных осей и называется разночастотностью.

Скорость затухания колебаний резонатора зависит от ориентации волны, то есть резонатор имеет различные декременты затухания и соответствующее им направление осей. Такой дефект резонатора называется разнодобротностью. Устранение (уменьшение значений) этих дефектов достигается балансировкой резонатора.

**2.4. Изготовление.** Резонатор после чистовой токарной обработки геометрически представляет из себя осесимметричное цилиндрическое тело вращения. В рабочем режиме, при возбуждении волны в теле резонатора, кромка цилиндра совершает радиальные колебательные движения с амплитудой 0,002-0,004 мм (2-4 мкм). Именно изменение амплитуды колебаний в резонаторе является первичным источником информации в ВТГ. Логично, что параметры точности изготовления резонатора и шероховатость его поверхности должны быть как минимум меньше амплитуды колебаний. Для получения приборов с высокими техническими характеристиками эти параметры должны отличаться на порядки. Для обеспечения заданной в конструкторской документации (КД) геометрии и качества поверхности резонатора – станок, инструмент и режимы обработки должны соответствовать физико-механическим свойствам материала заготовки. У мартенситно-старяющихся сталей, к которым относится сплав 21НКМТ-ВИ, понижена обрабатываемость резанием (группы обрабатываемости по ISO: S, M). Это выдвигает определенные технические требования при выборе станка, подбору инструмента и режимов обработки для операции чистового точения [7].

### Заключение

Помимо технологических возможностей, потенциальный производитель ВТГ должен обладать технологической готовностью, то есть возможностью изготовления с заданными характеристиками и в отведенные сроки. Для оценки технологической готовности необходима оценка технологичности изделия, проведение конструкторского и технологического анализа КД, проведение аудита технического и организационного уровня предприятия.

Для достижения заданного качества продукции и объема выпуска предприятие должно обладать технологиями и оборудованием, обеспечивающими реализацию параметров, заложенных в КД, специалистами ИТР и высококвалифицированными рабочими.

При оценке технологической готовности предприятия необходима также оценка кооперации производства, передачи отдельных технологических операций на аутсорсинг специализированным предприятиям, обладающим необходимым оборудованием и отработанными технологиями.

### Литература

1. Волчихин И.А., Волчихин А.И., Малютин Д.М., Матвеев В.В., Распопов В.Я., Телухин С.В., Шведов А.П. Волновые твердотельные гироскопы (аналитический обзор) // Известия

ТулГУ. Технические науки. 2017. Выпуск 9, ч.2 – С. 59–79.

2. Линч Д. Взгляд компании «НОРТРОП ГРУММАН» на развитие инерциальных технологий / Д. Линч // Гироскопия и навигация. – 2008. – № 3. – С. 102–106.

3. Матвеев, В.А., Липатников, В.И., Алевтин А.В. «Проектирование волнового твердотельного гироскопа». – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 165 с.

4. Развитие теории создания волновых твердотельных гироскопов с металлическим резонатором / В.А. Матвеев, М.А. Басараб, Б.С. Лунин, Е.А. Чуманкин, А.В. Юрин. // Вестник РФФИ. Фундаментальная инженерия. 2015. – № 3 (87) – С. 84–96.

5. Лунин Б.С., Матвеев В.А., Басараб М.А. Волновой твердотельный гироскоп. Теория и технология. – М. : Радиотехника, 2014. – 176 с.

6. Чуманкин Е.А. Результаты проектирования и испытаний датчика угловой скорости на основе волнового твердотельного гироскопа. // Гироскопия и навигация. 2013, № 2 (81). – С. 104–111.

7. Распопов В.Я., Волчихин И.А., Волчихин А.И. и др. Волновой твердотельный гироскоп с металлическим резонатором. Под ред. В.Я. Распопова. – Тула : ТулГУ. 2018. – 189 с.

УДК 681.2.082

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗУБНЫХ БОРОВ

Киселёв М.Г., Монич С.Г., Семенкович В.П.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь*

Зубной бор представляет собой вращающийся многолезвийный инструмент, предназначенный для обработки (препарирования) твердых тканей зубов и челюстных костей [1]. Он состоит из рабочей части (головки) 1, шейки 2 и хвостовика 3 (рисунок 1), служащего для закрепления бора в стоматологическом наконечнике.

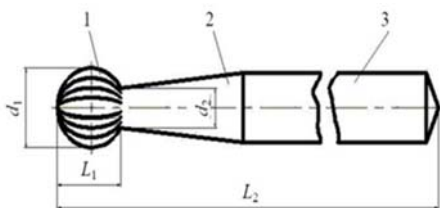


Рисунок 1 – Конструкция зубного бора:  $d_1$  – диаметр рабочей части (головки);  $d_2$  – диаметр шейки;  $L_1$  – длина рабочей части;  $L_2$  – общая длина бора

В зависимости от материала рабочей части боры разделяются на стальные, изготавливаемые целиком из высокопрочной хромированной стали ХВ5 и твердосплавные, рабочая часть которых выполняется из цилиндров твердого сплава ВК6М или ВК60М, которые привариваются к хвостовику, изготовленному из стали ШХ15 [2].

В настоящее время на территории Республики Беларусь действует стандарт ГОСТ 22090.1-93 «Инструменты стоматологические вращающиеся. Боры стальные и твердосплавные», в котором описаны основные технические требования, предъявляемые к стальным и твердосплавным стоматологическим борам. Согласно ему предъявляются требования: к материалу, применяемому при изготовлении боров; к размерам и числу лезвий; к общей длине (включая хвостовик); к радиальному биению; к прочности шейки; к твердости к рабочей части и хвостовику; к параметрам шероховатости.

При определении основных функциональных характеристик стоматологических стальных боров был рассмотрен стандарт ГОСТ 30213-94 «Инструменты стоматологические вращающиеся. Методы испытаний». В нем описаны методы измерений и испытаний описанных выше параметров, а также проверка режущей способности боров.

На рисунке 2 приведена схема проверки режущей способности цилиндрического фиссурного при проверке его.