

УДК 62-229.331:621.924

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ГАЗОМАГНИТНОЙ ОПОРЫ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

Щетинин В.С., Космынин А.В., Хвостиков А.С.

ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ», Комсомольск-на-Амуре, Россия, e-mail: AvKosm@knastu.ru.

Приводится анализ воздействия вихревых токов и токов Фуко на тепловые деформации быстровращающегося шпинделя в газомангнитной опоре. Применяется магнитный подвес в газостатической опоре для повышения несущей способности шпиндельного узла. При нагревании шпинделя происходит тепловое расширение диаметра и как следствие уменьшение радиального зазора. Это приводит к ухудшению работы газостатической части опоры. При конструировании шпинделя с газомангнитной опорой необходимо учитывать тепловое расширение диаметра. Приведены расчетные и экспериментальные данные нагрева шпинделя.

Ключевые слова: шпиндельный узел, газомангнитная опора, шпиндельные подшипники, газостатические подшипники, несущая способность шпиндельного узла.

THE EXPLORATION THE GAS MAGNETIC SUPPORT OF THE SPINDLE'S BOILING TEMPERATURE

Schcetin V.S., Kosmynin A.V., Khvostikov A.S.

Komsomolsk-an-Amure state technical University, Komsomolsk-an-Amure, Russia, e-mail: AvKosm@knastu.ru.

In clause the analysis influence of vortical currents and Foucault's currents on thermal deformations of quickly rotating spindle in a gas magnetic support is resulted. In a gas static support the magnetic support is applied to increase of bearing ability of a spindle. At heating a spindle there is a thermal expansion of diameter and reduction of a radial backlash. It results in deterioration of functioning of a gas static part of a support. At designing a spindle with a gas magnetic support it is necessary to take into account thermal expansion of diameter. Are resulted settlement and experimental data of heating of a spindle.

Key words: spindle assemblies, gas-magnetic bearing, spindle bearings, gas-static bearings, bearing ability spindle assemblies.

Развитие высокоскоростной обработки (ВСО) материалов резанием представляет повышенные требования к узлам оборудования. Шпиндельный узел (ШУ) станка должен обладать высокой быстроходностью (не менее $5 \cdot 10^6$ м/мин), точностью вращения (до 10^{-7} м) и надёжностью [1].

Эффективность работы ШУ во многом зависит от применяемых в нем видов опор. Высокие скорости вращения достигаются на опорах с газовой смазкой [1; 2], магнитных опорах, конкретно на активных магнитных подвесах (АПМ) [1; 3] и немного меньшие на опорах качения [1]. Следует иметь в виду, что опоры качения имеют ограниченный ресурс работы, определяемый количеством циклов нагружений. В условиях высоких частот вращения до $4 \cdot 10^5 \text{ мин}^{-1}$ гарантированный ресурс может оказаться значительно меньше цикла межремонтного обслуживания оборудования.

Для АПМ и опор с газовой смазкой ресурс работы можно считать неограниченным из-за отсутствия механического контакта между шипом и вкладышем опоры. Однако эти типы подшипников имеют невысокую несущую способность, а АПМ еще и сложную систему контроля и управления положением шпинделя в пространстве [2; 3].

Для решения в какой-то мере проблемы низкой грузоподъемности (несущей способности) указанных бесконтактных подшипников предлагается использовать комбинированную опору, совмещающую в себе элементы газостатического и магнитного подшипников [4]. При этом нагнетание газа в зазор опоры осуществляется через пористые вставки.

При вращении шпинделя в магнитном поле возникают токи Фуко и вихревые токи. Токи, циркулируя в теле шпинделя, порождают выделение теплоты, что приводит тепловому расширению шпинделя и, как следствие, уменьшению среднего радиального зазора в опоре. Такое уменьшение негативно отражается на обеспечении требуемых условий течения газа, выполнение которых обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики газостатической опоры. В связи с этим при конструировании ШУ на газомангнитных опорах необходимо учитывать тепловые деформации шпинделя.

Для определения температурного состояния шпинделя и вкладыша ГМО В КНАГТУ был спроектирован и изготовлен экспериментальный стенд [5].

В комплексе экспериментов по исследованию уровня нагрева вкладыша газомангнитной опоры с пористыми вставками использовался установленный между линиями надува нагруженной части подшипника кремниевый датчик LM 135 группы «А» фирмы National Semiconductor с аналоговым выходом. Принципиальная схема датчика температуры показана на рис. 1, а его установка во вкладыше подшипника – на рис. 2.

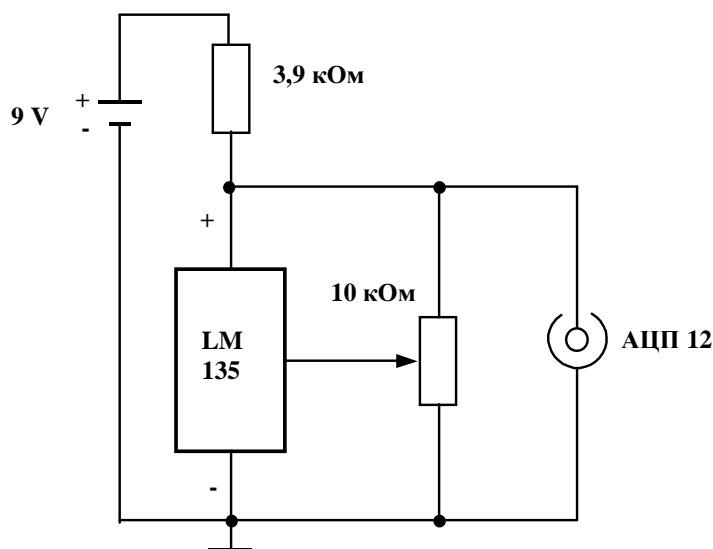


Рис. 1. Принципиальная схема датчика температуры.

Датчик LM 135 выполнен в виде цилиндрического корпуса диаметром 5 мм и высотой 6 мм. Он имеет рабочий диапазон температур от -50 до $+150$ °С. Температурная характеристика датчика линейная с коэффициентом температурной чувствительности 10 мВ/К. Нулевое выходное напряжение LM135 соответствует температуре абсолютного нуля.

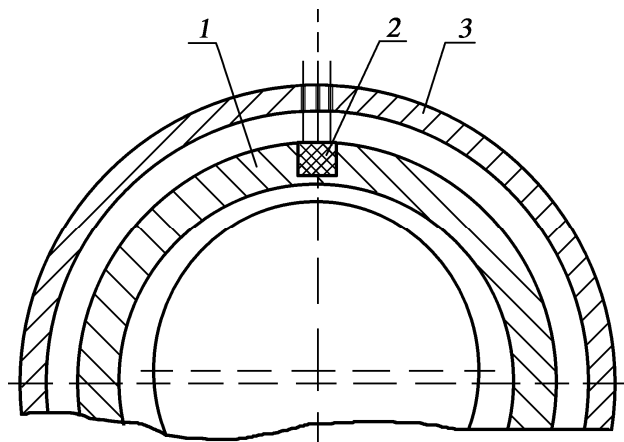


Рис. 2. Схема установки температурного датчика во вкладыше газостатической опоры: 1 – вкладыш; 2 – датчик; 3 – корпус.

Калибровка датчика, осуществляемая многооборотным подстроечным резистором, производилась при температуре окружающей среды 22 °С. В качестве эталонного термометра использовался стеклянный термометр ТР-1 № 7 с диапазоном температур 24–28 °С и ценой деления 0,01 °С. Абсолютная погрешность показаний этого термометра составляет $\pm 0,01$ °С. Датчик LM 135 располагался на расстоянии 1 мм от внутренней поверхности вкладыша. Три его провода через соединительную колодку соединялись с

платой датчика, которая в свою очередь парой проводов подключалась к плате сопряжения.

Плата сопряжения, предназначенная для ввода показаний датчика в компьютер, устанавливалась в разьеме ISA материнской платы. Задачу преобразования аналогового сигнала с выхода датчика в цифровой код выполнял двенадцатиразрядный АЦП. Нагрев вкладыша подшипника оценивался с точностью до $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура шпинделя вблизи вкладыша передней опоры замерялась с помощью термопары после его остановки. Период установления температурного режима вала составлял 30–50 мин. Время от начала остановки вала до начала измерения составляло 10–20 сек.

Измерения проводились цифровым мультиметром серии M890G в комплекте с термопарой TP-0,1.

Погрешность измерения по паспортным данным в диапазоне $-50\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ составляет $\pm 0,75\%$ или от предела диапазона $\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, разрешение $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нагрев шпинделя оценивался с точностью до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом максимальная относительная погрешность выполненного комплекса экспериментов по определению изменения температуры шпинделя не превышала 7%.

Регистрация температуры объектов исследования проводилась при достижении теплового равновесия, которое в среднем устанавливалось в течение 50 мин.

На рис. 3 представлены зависимости изменения температуры шпинделя и вкладыша газомангнитной опоры от частоты вращения.

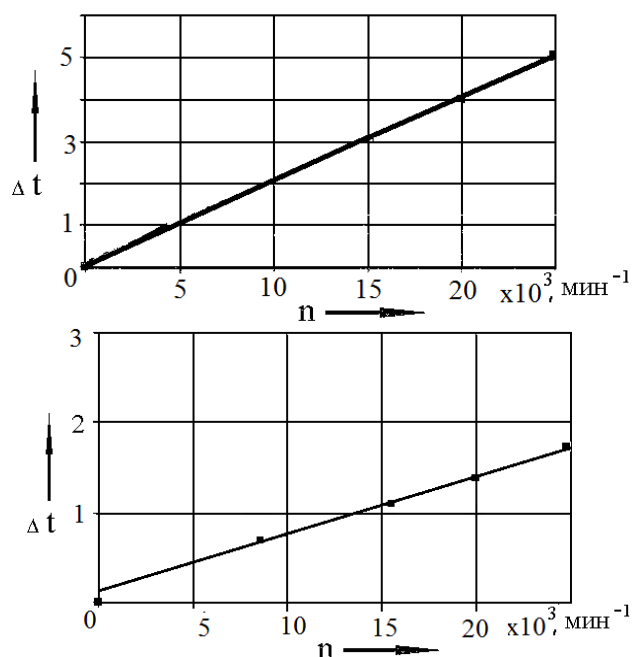


Рис. 3. Зависимость изменения температуры Δt шпинделя (а) и вкладыша (б) газомангнитной опоры от частоты вращения шпинделя n .

Из представленных графиков видно, что тело шпинделя нагревается незначительно. Так, при параметре быстроходности $d \times n = 1,2 \cdot 10^6$ мм/мин повышение температуры шпинделя не превышала 5°C , при этом вкладыш ГМО практически не нагревается. Невысокое повышение температуры объясняется наличием интенсивного вынужденного конвективного теплообмена, возникающего вследствие наддува сжатого воздуха в зазор опоры.

Повышение температуры шпинделя на 5°C ведет к увеличению его первоначального диаметра, равного 50 мм, примерно на 3 мкм, а диаметр вкладыша ГМО при той же частоте вращения возрастает на 1 мкм. При таком тепловом расширении шпинделя средний радиальный зазор изменяется на 3,9%, что следует считать незначительным.

Список литературы

1. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: качество и надежность. – М. : Машиностроение, 1992. – 228 с.
2. Космынин А.В., Кабалдин Ю.Г., Виноградов В.С. [и др.]. Эксплуатационные характеристики газовых опор высокоскоростных шпиндельных узлов. – М. : Академия естествознания, 2006. – 219 с.
3. Журавлев Ю.П. Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение. – СПб. : Политехника, 2003. – 206 с.
4. Способ работы подшипникового узла и подшипниковый узел : пат. № 2347960 РФ, МПК F 16 C 32/04 , F 16 C 33/08 / Космынин А.В., Щетинин В.С. ; Заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Комсомольский на Амуре государственный технический университет» № 2007120545 ; заявл. 01.06 07 ; опубл. 27.02.09, Бюл. № 6.
5. Космынин А.В. Стенд для исследования выходных характеристик шпиндельного узла на газоманитных опорах / Космынин А.В. [и др.]. // СТИН. – 2010. – № 5. – С. 8–11

Рецензенты:

Козин В.М., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института машиноведения и металлургии ДВО РАН, г. Комсомольск-на-Амуре.

Амосов О.С., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Информатики», ФГОУ ВПО «Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет», г. Комсомольск-на-Амуре.

Работа получена 20.10.2011