

непосредственной близости от баллонного катетера. При этом в баллоне создается давление до 4 МПа. Ультразвуковое воздействие осуществляется в виде пакетов колебаний с параметрами, позволяемыми используемым генератором, в резонансном режиме, в который система вводилась после установки волновода в фантом сосуда.

Для опробования был использован фантом сосуда, вид которого с установленным внутри баллонным катетером показан на рис. 5. На фантом в процессе исследований осуществлялось ультразвуковое воздействие полым волноводом, размещаемым внутри фантома в непосредственной близости от баллонного катетера. При этом в баллоне создавалось давление около 0,4 МПа. Ультразвуковое воздействие осуществлялось в виде пакетов колебаний с частотой следования $0,25 \text{ с}^{-1}$ и скважностью 2. Частота ультразвуковых колебаний в пакете 22 500 Гц.



Рисунок 5 – Фантом сосуда

Start	0:00:02	1,158182
	0:00:03	1,100909
	0:00:04	1,16
Stop	0:00:05	1,158182
	0:00:06	0,929091
	0:00:07	0,890909
	0:00:08	0,891818
COM port	0:00:01	?
Interval	17:56:36	0:00:10
Request@	STOPPED	0:00:11
Status	690	0:00:12
Index	?	0:00:13
Request	18370	0:00:14
Response	0,968182	0:00:15
Value	0,942727	0:00:16
	0,961818	

Рисунок 6 – Результаты измерений давления

На рис. 6 показаны данные, полученные с датчика давления (в условных единицах) в течение примерно 11 секунд.

Графическое представление полученных данных в виде диаграммы Microsoft Excel показано на рис. 7.

УДК 621.822

ШПИНДЕЛЬНЫЙ УЗЕЛ МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА НА ОСНОВЕ МЕХАТРОННЫХ ПОДШИПНИКОВ

Савченко А.Л., Минченя В.Т., Минченя Н.Т., Скурковина Л.Е.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Целью исследования является внедрение в роторные узлы технологического оборудования средств, позволяющих управлять кинематикой подшипников качения, что позволит повысить их долговечность и расширить технологические возможности.

На рис. 8 показан конечный фрагмент диаграммы в увеличенном масштабе, откуда видно, что чувствительность системы достаточна для регистрации колебаний давления с разрешением до 0,5 %.

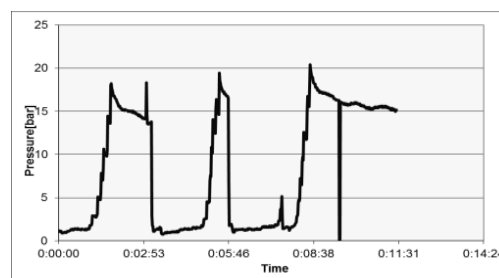


Рисунок 7 – Результаты измерения давления

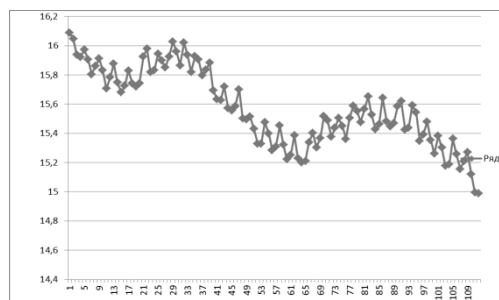


Рисунок 8 – Результаты измерения давления

Таким образом, экспериментальные исследования показали, что разработанный комплекс позволяет регистрировать изменений упруго-эластических свойств кровеносных сосудов непосредственно при фоздействии на него акустической энергией.

Литература

1. Минченя, В.Т. Аппаратно-программный комплекс для исследования упруго-эластических свойств артериальной стенки на фантомах. / В.Т. Минченя, А.Л. Савченко, Н.Т. Минченя. – Приборостроение-2017 / Материалы 10-й междунар. научн.-техн. конф., Минск, 1–3 ноября 2017 г. – Мн.: БНТУ, 2017. – С. 6–8.
2. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами [Электронный ресурс] : учебное пособие / Федорова В.Н., Фаустов Е.В. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2010. – <http://www.studentlibrary.ru/book>

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- выполнить обзор методов диагностики и повышения долговечности роторных систем технологического оборудования, их характеристик и решаемых задач.

– разработать и исследовать метод управления механикой подшипников качения.

– рассмотреть вопросы встраивания средств управления в роторные узлы оборудования.

Шпиндельный узел на базе мехатронных подшипников (рис. 1) содержит корпус 1, вал 2. Концы вала 2 закреплены во внутренних кольцах радиально-упорных подшипников 3 и 5, наружные кольца которых установлены в корпусе 1 и распорной втулке 4.

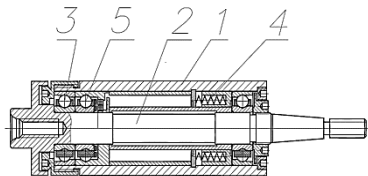


Рисунок 1 – Пример конструкции шпиндельного узла с использованием разработанной конструкции мехатронного подшипника:

- 1 – корпус шпиндельного узла; 2 – вал шпинделя;
3 – подшипник скольжения; 4 – распорная втулка;
5 – мехатронный подшипник

Шпиндель работает следующим образом. С помощью втулки 4 создается оптимальный предварительный натяг в опорных подшипниках 3 и 5. Затем шпинделю сообщается рабочая частота вращения. Колебания вала 2 через подшипники преобразуются бесконтактным индуктивным преобразователем, находящимся в конструкции мехатронного подшипника 5, в электрические сигналы, которые поступают на выход системы для решения задач кинематической диагностики. С помощью сигналов управления мехатронный подшипник в ходе работы создает оптимальное соотношение скоростей вращения шариков, обеспечивающее равномерный износ.

Как известно, при вращении колец подшипника шарик совершает сложное движение, состоящее из движения центра шарика по окружности, и сферического, т. е. вращения шарика вокруг собственной оси. Сферическое движение раскладывается на три составляющих:

$$\vec{\omega} = \vec{\omega}_K + \vec{\omega}_B + \vec{\omega}_{кр},$$

где $\vec{\omega}_K$ – угловая скорость качения, вектор которой направлен перпендикулярно плоскости контакта; $\vec{\omega}_B$ – угловая скорость верчения, вектор которой находится в плоскости контакта; $\vec{\omega}_{кр}$ – угловая скорость кручения, вектор которой также находится в плоскости контакта.

В радиально-упорном подшипнике вращение шарика со скоростями ω_K и ω_B обусловлено условиями движения, $\omega_{кр}$ вызывается гироскопическим моментом.

С позиции рассмотрения износа шариков при движении в кольцах подшипника, чем больше отношение ω_B/ω_K , тем равномернее будет располагаться на поверхности шарика траектория точки его касания с кольцом. Если сравнивать соотношение угловых скоростей в сферическом движении шарика в радиально-упорном подшипнике и при доводке, то $\omega_K : \omega_B : \omega_{кр}$ в подшипнике равно $1 : 0,18 : 0$; при доводке согласно экспериментальным данным: $1 : 0,02 : 0,03$.

Следовательно, для получения сферической формы при доводке в кольцах подшипника необходимо добиться условия $\omega_{кр} \neq 0$. Этого можно добиться приданием шарикам принудительного вращения за счет ультразвуковых колебаний специальными виброрезонансными приводами, встраиваемыми в подшипник [1].

Вариант конструкции подшипника с управляемой кинематикой показан на рис. 2 [2].

Подшипник включает внутреннее кольцо 1 и наружное кольцо 2, между которыми расположены шарики 3, разделенные сепаратором 4. В сепараторе встроены виброрезонансные приводы 5, энергия к которым подводится за счет трансформаторной связи между катушками 6 и 7. В наружное кольцо встроены датчики 8 и 9 для измерения скоростей вращения сепаратора и внутреннего кольца. Якоря датчиков 10 и 11 установлены соответственно на сепаратор и внутреннее кольцо. Для подключения подшипника к системе имеется кабель 12.

Принцип действия системы диагностики подшипника основан на измерении колебаний скорости вращения сепаратора, функционально связанных с погрешностями элементов подшипника.

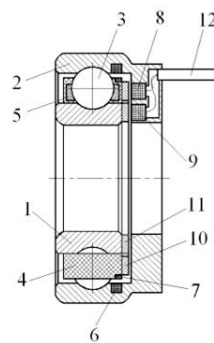


Рисунок 2 – Конструкция подшипника с управляемой кинематикой

Для измерения скорости вращения сепаратора можно воспользоваться датчиком с магнитными метками, аналогичным используемому в подшипниках ASB. Также возможен другой вариант измерения скорости вращения сепаратора путем измерения интервалов времени движения шарика от одного порогового индуктивного датчика до другого. Датчики такого типа имеют небольшие габариты, позволяющие их встраивание в подшипник.

В ходе работы измерительный сигнал, поступающий от подшипника к схеме обработки, представляет собой две последовательности импульсов. Одна последовательность соответствует скорости вращения вращающегося (обычно внутреннего) кольца и, следовательно, ротора, который на этих подшипниках установлен. В установившемся режиме вращения эта последовательность имеет постоянную частоту следования. Вторая последовательность соответствует скорости вращения сепаратора и отличается от первой частотой следования, которая при одинаковом количестве магнитных меток связана с частотой вращения внутреннего кольца соотношением:

$$\omega_c = \frac{\omega_{вн}}{2} \left(1 - \frac{D_w}{d_m} \cos \alpha \right),$$

где D_w – диаметр шариков; d_m – диаметр по центрам шариков; α – угол контакта.

Кроме того, импульсы этой последовательности имеют фазовый сдвиг, вызванный отклонениями размера и формы шариков и дорожек качения, появляющимися в результате износа. Такой сигнал можно рассматривать как последовательность и частотно-импульсной или фазово-импульсной модуляцией, что, по сути, одно и то же. Следовательно, выделение информации о степени износа подшипника может быть осуществлено в результате демодуляции такого сигнала. Первая последовательность импульсов может использоваться в качестве опорного сигнала.

Структура возможной схемы обработки измерительного сигнала показана на рис. 3 [3].

Обе последовательности импульсов проходят через амплитудные ограничители 1 и 2 для устранения амплитудной модуляции, после чего поступают на входы демодулятора 3. Сигнал на выходе демодулятора имеет вид АМ-сигнала, глубина модуляции которого пропорциональна степени износа элементов подшипника. Далее сигнал может быть обработан различными способами,

например с использованием порогового устройства 4, порог срабатывания которого настраивается в соответствии с заданными требованиями к точности вращения системы и состоянию подшипника. К выходу порогового устройства подключается блок сигнализации 5.

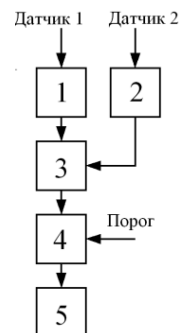


Рисунок 3 – Схема обработки сигнала

Предложенная конструкция шпиндельного узла позволит повысить долговечность его использования и тем самым снизить затраты на ремонт. Виброрезонансные приводы также могут встраиваться не в сепаратор, а в корпус шпиндельного узла, что позволяет управлять кинематикой тел качения в обычных подшипниках.

Литература

1. Савченко А.Л. Восстановление точностных параметров радиально-упорных шарикоподшипников методом обкатки с использованием ультразвука. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. – Мн.: БНТУ, 2007. – 22с.
2. Савченко, А.Л. Средства диагностики и управления кинематикой, интегрированные в подшипник качения / А.Л. Савченко, В.Т. Минченя, Н.Т. Минченя, Р.М. Асимов. – Приборы и методы измерений, №1(4), 2012. С. 99 – 103.
3. Савченко, А.Л. Обработка измерительного сигнала в мехатронном подшипнике со встроенными средствами диагностики. / А.Л. Савченко, В.Т. Минченя, Н.Т. Минченя. – Приборостроение-2015 / Материалы 8-й междунар. научн.-техн. конф., Минск, 25 – 27 ноября 2015 г. – Мн.: БНТУ, 2015. – Ч.2. – С.129 – 130.

УДК 620.179.14; 538.2

АНАЛИЗ МЕТОДИКИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДЕЛЬНОЙ ПЕТЛИ МАГНИТНОГО ГИСТЕРЕЗИСА ДЛЯ СТРУКТУРОСКОПИИ СТАЛЕЙ

Сандомирский С.Г.

Государственное научное учреждение «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

Основными магнитными параметрами, чувствительными к структуре сталей, являются коэрцитивная сила H_c и остаточная намагниченность M_r (рис. 1). К фазовому составу стали чувствительна намагниченность M_s технического насыщения (рис.1). Относительная погрешность δ_{Hc}

измерения H_c по стандартной методике не превышает 2 %. M_r и M_s могут быть измерены с относительными погрешностями $\delta_{M_r} \approx \delta_{M_s} \approx 3$ %, а отношение $K_{П} = M_r/M_s$ при измерении M_r и M_s на одной и той же аппаратуре – с относительной погрешностью $\delta_{КП} = 1$ %. Это явилось основой магнитной