Ваньков А. А., Щетинин В. С., Космынин А. В.
A. A. Vankov, V. S. Shchetinin, A. V. Kosmynin

ОПИСАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РОТОРА

DESCRIPTION OF THE HIGH-SPEED ROTOR DYNAMICS

Ваньков Алексей Александрович – аспирант кафедры «Технология машиностроения» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681008, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Лазо, 80. E-mail: vankov@gmail.com.

Mr. Alexei A. Vankov – a Postgraduate Student, Mechanical Engineering Technology Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681008, Komsomolsk-on-Amur, ul. Lazo, 80. E-mail: vankov@gmail.com.

Щетинин Владимир Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: schetynin@mail.ru.

Mr. Vladimir S. Shchetinin – Doctor of Engineering, Professor, Chemical Production Machinery and Equipment Department, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: schetynin@mail.ru.

Космынин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, декан факультета энергетики, транспорта и морских технологий Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Mr. Alexander V. Kosmynin – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Faculty of Power Engineering, Transport and Marine Technologies, Komsomolsk-on-Amur State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: avkosm@knastu.ru.

Аннотация. Представленная статья посвящена актуальной задаче по совершенствованию высокоточного оборудования, и в частности высокоскоростного ротора на бесконтактных газостатических опорах. Использование данного оборудования позволяет достичь высокой точности вращения 0,2...0,5 мкм. В данной статье описаны требования, предъявляемые в современной промышленности, и один из способов их достижения путем изучения динамики высокоскоростных роторных систем, влияние динамики на точность обработки, а также составлено уравнение динамики высокоскоростного ротора (ВСР). Данные теоретические исследования, в частности зависимость динамики ВСР от приложенной нагрузки, подтверждены экспериментальным способом.

Summary. The presented article is devoted to the actual task of improving high-precision equipment, in particular high-speed rotor with noncontact gas-static supports. The use of this equipment makes it possible to achieve a high accuracy of rotation of 0.2...0.5 μm . This article describes the requirements of modern industry and one of the ways to achieve them by studying the dynamics of high-speed rotor systems. The article also describes the influence of dynamics on the accuracy of processing, and the equation of dynamics of a high-speed rotor. These theoretical studies and, in particular, the dependence of the HRV dynamics on the applied load are confirmed by experimental methods.

Ключевые слова: динамика, ротор, конструктивные параметры, режимные параметры, точность вращения, сила резания.

Key words: dynamics, rotor, design parameters, mode parameters, rotation accuracy, cutting force.

УДК 621.822.574

Введение

Уровень современной промышленности обуславливает повышенные требования к различным высокоскоростным роторным системам (ВРС). Для обеспечения качественного производства требуются шпиндельные узлы (ШУ) станков, турбин газоперекачивающих станций, пневмошлифовального инструмента и другого оборудования с высокими выходными параметрами.

В настоящее время до 80 % точности работы ВСРС зависит от подшипников, используемых в конструкции: именно они вносят существенный вклад в выходные характеристики всех роторных систем в целом. Требования, предъявляемые к точности и производительности современной ВСРС: погрешность вращения не менее 0,5 мкм; обороты более 5·10 мм·мин⁻¹; диаметр обрабатываемой поверхности 10...60 мм. Создание перспективных подшипников для ВСРС, в целом обеспечивающих высокие выходные параметры, имеет первостепенное значение.

Для достижения поставленной цели была сформулирована задача составления научно обоснованной методики исследования точности вращения ВСРС на основе создания математических моделей алгоритмов и программ для расчета траектории движения его оси.

Описание динамики ротора в зависимости от приложенной нагрузки

Ниже представлен рис. 1, описывающий зависимость динамики ротора (точность вращения) от приложенной силы резания.

Рис. 1. Зависимость динамики ротора от приложенной нагрузки

Задается начальное положение ротора, к нему прикладывается условная сила резания F , в результате происходит смещение ротора относительно центра на условную величину e (эксцентриситет), равную 15...40 мкм, данная величина смещения зависит только от режимных параметров ротора, таких как жесткость и несущая способность, которые изменяются в зависимости от приложенной силы резания. Далее происходит биение ротора в смещенной точке на величину Δe , которая варьируется в самых минимально возможных фиксируемых диапазонах 0,1...0,5 мкм. Смещение Δe главным образом влияет на точность вращения ротора. Величина Δe зависит от конструктивных параметров ВСР (длина ротора, длина опор, величина раздвижки опор).

Экспериментальное подтверждение

Данные теоретического предположения подтверждается экспериментом, результаты которого видны на графике (см. рис. 2).

Рис. 2. Зависимость нагрузки $\bar{F}$ от эксцентриситета ϵ_1

На рис. 2 видна тенденция увеличения смещения оси ротора (эксцентриситет e) при увеличенной силе резания F , в результате несущая способность ротора с увеличением эксцентриситета будет уменьшаться. В итоге можно делать выводы и находить зависимости влияния режимных параметров на точность обработки поверхности.

Динамическая модель высокоскоростного ротора

Для определения влияния конструктивных параметров ротора на точность обработки необходимо описать динамику ротора с помощью математической модели с учтенными режимными параметрами (см. рис. 3).

Рис. 3. Динамическая модель ротора

Ротор разбит на три условные части: передний подшипник 1, центр масс 2, задний подшипник 3. На рис. 3 представлена схема распределения масс для каждой из трех частей. В начальном положении центр тяжести ротора лежит в точке G_0 , точки T_0 и C_0 считаются неподвижными относительно центра тяжести. Вектора tg_0 и gp_0 описывают положение неподвижных точек для переднего и заднего подшипников. Задав динамическую неуравновешенность переднего и заднего подшипника K_0 и P_0 , описываем инерцию ротора, которая определяется векторами kg и gp . Перемещение точек T, P, C, K определяет смещенный центр тяжести ротора jg .

Воспользуемся подвижной системой координат, привязанной к центру тяжести ротора и описывающей его вращательное и поступательное движение (см. рис. 4).

$GX_{G1}Y_{G1}Z_{G1}$ описывает поступательное движение ротора на величину Y_G .

$GX_{G2}Y_{G2}Z_{G2}$ описывает вращательное движение ротора.

$G_0X_{G0}Y_{G0}Z_{G0}$ описывает начальное положение ротора.

Рис. 4. Описание движения центральной части ротора

Заключение

Данная работа ориентирована на расчет динамики ВСРС на бесконтактных опорах. В первую очередь это необходимо для предсказания динамики ШУ станков, турбин газоперекачивающих станций, пневмошлифовального инструмента и другого оборудования еще на стадии проектирования в зависимости от технологических требований и желаемого режима работы с дальнейшим созданием более совершенных и оптимальных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Выходные характеристики высокоскоростных шпиндельных узлов на газовых опорах: моногр. / А. В. Космынин, В. И. Шаломов, В. С. Щетинин, В. Д. Жесткая, А. С. Хвостиков, А. В. Смирнов. – М.: Издательский дом «Академия Естествознания», 2011. – 178 с.
2. Космынин, А. В. Бесконтактные опоры высокоскоростных роторных систем: моногр. / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. В. Смирнов. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – Ч. 1 – 2.
3. Эксплуатационные характеристики газовых опор высокоскоростных шпиндельных узлов / А. В. Космынин, Ю. Г. Кабалдин, В. С. Виноградов, С. П. Чернобай. – М: Издательский дом «Академия естествознания», 2006. – 219 с.
4. Космынин, А. В. Основы проектирования высокоскоростных шпиндельных узлов на газоманитных опорах / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. С. Хвостиков. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 181 с.
5. Газоманитные опоры высокоскоростных роторных систем: моногр. / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, Н. А. Иванова, А. С. Хвостиков. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2013. – 132 с.
6. Щетинин, В. С. Совершенствование высокоскоростных шпиндельных узлов на бесконтактных опорах за счёт применения газоманитных подшипников / В. С. Щетинин, А. В. Космынин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2010. – № II-1(2). – С. 65-68.