

# **ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЛЕПЕСТКОВЫЕ ПОДШИПНИКИ С ПЕРЕКРЫВАЮЩИМИСЯ ЛЕПЕСТКАМИ**

к.т.н., начальник сектора лепестковых подшипников НИУ МЭИ Сигачев С.И.

к.т.н., ведущий инженер кафедры ЭКАО НИУ МЭИ Захарова Н.Е.

к.т.н., заведующий кафедрой ЭКАО НИУ МЭИ Румянцев М.Ю.

Сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве». – Протвино, Управление образования и науки Администрации г.Протвино. 23-27 июня 2014г. С.923-927.

Описываются конструкции лепестковых газодинамических подшипников с взаимно перекрывающимися лепестками, разработанных на кафедре ЭКАО НИУ МЭИ.

## **HIGH SPEED GASDYNAMIC FOIL BEARINGS A LEAF TYPE**

Sigachev S., Zakharova N., Rumyantsev M.

Describes the construction of gasdynamic foil bearing a leaf type, developed at the Department of EКАО NIU MPEI.

В настоящее время во всех заграничных и отечественных разработках высокоскоростных турбомашин малой мощности используются исключительно газодинамические подшипники лепесткового типа, так как они обладают рядом существенных преимуществ перед другими типами высокоскоростных подшипников, таких как газостатические подшипники, газодинамические подшипники с жесткими профилированными несущими поверхностями, электромагнитные подшипники.

Основные преимущества лепестковых подшипников:

- автономность работы (отсутствие возобновляемой смазки и отсутствие необходимости подачи воздуха или другого рабочего газа под давлением в рабочие зазоры подшипника);
- эффективное демпфирование колебаний ротора благодаря рассеиванию колебательной энергии в многочисленных зонах трения внутри подшипника;
- возможность упростить требования к точности изготовления деталей и сборки за счет наличия достаточно больших зазоров внутри подшипника;
- пониженные требования к чистоте рабочего воздуха (или другого газа);
- пониженные требования к точности балансировки ротора;
- большой ресурс.

В настоящее время известны два основных типа газодинамических лепестковых подшипников - подшипники с подкладными гофрированными элементами и одним несущим лепестком (bump type) и подшипники с взаимно перекрывающимися лепестками (leaf type). Подшипники bump type обладают большей несущей способностью, а подшипники leaf type – большей демпфирующей способностью, поэтому в стационарных машинах используются подшипники первого типа, а в транспортных машинах - второго типа.

В наших конструкциях используются лепестковые подшипники leaf type с многослойным пакетом взаимноперекрывающихся лепестков, включая слой дополнительных лепестков (рис.1).



*Рис.1 Радиальный лепестковый подшипник с дополнительными лепестками.*

В основе работы лепесткового газодинамического подшипника leaf type лежит эффект повышения давления в клиновых зазорах, образованных поверхностью вала и прилегающими к нему лепестками. Вращающийся вал увлекает воздух в конфузорную зону клиновидного зазора. При увеличении частоты вращения вала давление воздуха (или другого рабочего газа) в зазоре увеличивается и, наконец, становится достаточным для отделения лепестка от вала. Частота вращения, при которой лепестки отделяются от вала, называется «скоростью всплытия».

От величины этой скорости зависит износ антифрикционного покрытия лепестков, а, значит, и ресурс подшипника в целом. При увеличении частоты вращения вала давление в рабочих зазорах увеличивается и соответственно увеличивается несущая способность подшипника.

Пределом увеличения несущей способности является ограничение частоты вращения скорости из-за механической прочности элементов ротора, а иногда из-за возникающих динамических колебаний ротора.

Кроме того, несущая способность подшипника зависит от профиля газового слоя, формирующегося в соответствии с толщиной лепестков, их длиной, формой и степенью взаимного перекрытия. В лепестковом подшипнике различаются два вида зазоров - рабочий и монтажный. Рабочий зазор — это толщина несущего газового слоя, образованная при вращении ротора. Монтажный зазор - это расстояние между цилиндрической поверхностью вала, расположенного в центре подшипника, и внутренней поверхностью лепестков, прижатых к поверхности втулки подшипника.

Упругий многослойный пакет лепестков отслеживает радиальные колебания ротора, обеспечивая возможность перемещения ротора вместе с рабочим газовым слоем, толщина которого приблизительно составляет 5...15мкм, (это расчетная величина), в пределах монтажного радиального зазора, который варьируется в зависимости от габаритов подшипника в пределах 50...200мкм. Относительно большая величина монтажного зазора позволяет компенсировать не только погрешности изготовления элементов опоры и вала, но и тепловые деформации этих элементов при повышении температуры в процессе работы.

Демпфирование колебаний вала происходит за счет рассеивания колебательной энергии в многочисленных зонах трения в лепестковых подшипниках:

- между лепестками при их деформации;
- в зонах подвижного крепления лепестков в продольных пазах втулки корпуса подшипника;
- в зонах соприкосновения лепестков с втулкой корпуса подшипника.

Дополнительное демпфирующее действие оказывают газовые слои, расположенные между лепестками, за счет их сжатия и вытеснения при деформировании лепестков, а также благодаря возникновению гистерезисных сил в теле лепестков при их деформации.

Особое значение при создании надежных лепестковых подшипников с большим ресурсом следует уделить качеству антифрикционного покрытия лепестков. Мы используем полиамидное покрытие АИС-2 отечественной разработки.

Свойства этого покрытия сопоставлялись со свойствами покрытия TEFLON-s, используемого в разработках США. Такие свойства, как адгезия, износостойкость, допустимая рабочая температура оказались аналогичными. Однако коэффициент трения АИС-2 ( $f = 0,10$ ) оказался несколько ниже, чем у TEFLON-S ( $f = 0,12$ ).

На кафедре ЭКАО Московского Энергетического Института были проведены ускоренные ресурсные испытания с целью определения износа покрытия АИС-2 при многократных циклах «пуск—останов».

Испытаниям была подвергнута одна из высокоскоростных электромашин нашей разработки. Анализ состояния подшипников после проведения 30000 циклов «пуск-останов» подтвердил возможность их дальнейшей эксплуатации. Износ покрытия составил всего лишь 30% толщины антифрикционного слоя, причем износ 20% покрытия пришелся на приработку в период первых 100 циклов.

#### **Радиальный лепестковый газодинамический подшипник.**

На испытательном стенде были исследованы такие характеристики радиальных лепестковых опор, как упругая податливость, несущая способность, тепловыделения, «скорость всплытия».

На основе полученных данных разработан размерный ряд радиальных лепестковых газовых подшипников с диаметрами от 11мм до 126 мм.

Рассмотрим конструкцию лепесткового подшипника FGB22 (рис.2).

Табл. Характеристики радиального подшипника FGB22.

Тип	Диаметр цапфы, мм	Осевая длина, мм	Число лепестков	Максимальная скорость, об/мин	Несущая способность, Н	Скорость всплытия, об/мин	Пусковой момент, Н•м
FGB22	22	27	4	170.000	16	9.100	0,10

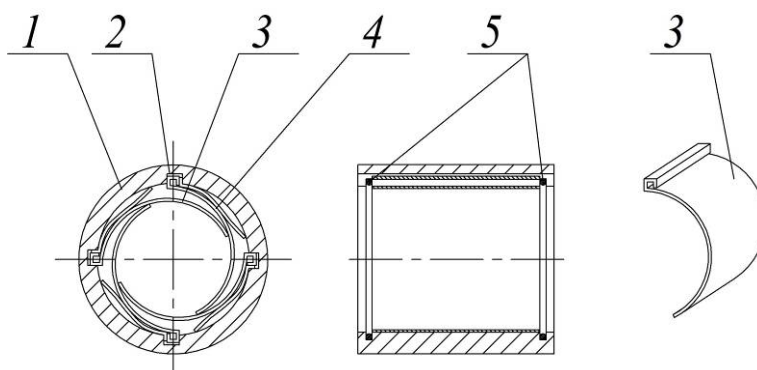


Рис.2. Лепестковый газодинамический подшипник радиальный FGB22.

Радиальный подшипник FGB22 представляет собой втулку (поз.1), с четырьмя продольными пазами (поз.2). В пазы свободно монтируются 4 несущих лепестка (поз.3) и 4 подкладных лепестка (поз.4), изготовленные из пружинной ленты. Для осевой фиксации лепестков во втулке устанавливаются кольца (поз.5). На одной из кромок несущего лепестка выполнена профилировка коробчатой формы для крепления лепестка в пазу. Антифрикционное покрытие АИС-2 наносится на поверхность лепестка, обращенную к валу. Несущие лепестки частично перекрывают друг друга. Дополнительные лепестки предназначены для увеличения демпфирующей способности подшипника, они монтируются между несущими лепестками и корпусом и не имеют антифрикционного покрытия.

#### **Осевой лепестковый газодинамический подшипник.**

Осевой лепестковый газовый подшипник представляет собой двухсторонний лепестковый подпятник гибридного типа (bump type и leaf type), т. к. его несущая поверхность образована кольцевым рядом взаимно пересекающихся лепестков, и каждый лепесток подпружинен специальной деталью, аналогичной гофрам в подшипниках bump type. Такая конструкция обладает достоинствами обоих типов подшипников, т. е. повышенной несущей

способностью и большим демпфированием.

Особое внимание при проектировании подшипника было уделено оптимизации профиля несущей поверхности. В результате удалось создать надежный подпятник с большой несущей способностью и с большим ресурсом.

В настоящее время разработан размерный ряд осевых лепестковых газовых подшипников с диаметрами пяты от 37 мм до 220 мм.

Рассмотрим конструкцию лепесткового подшипника TFGB44 (рис.3).

На рис. 3а приведен вид подпятника в плане, на рис. 3б - плата без несущих лепестков, на рис. 3в - фрагмент профиля подпятника.

Несущая поверхность подпятника образована рядом профилированных лепестков -1. Каждый лепесток имеет консольно расположенный участок и при помощи точечной сварки вместе с подкладным сегментом — 2 крепится к кольцевой плате - 4. На поверхность каждого лепестка, обращенную к пяте, предварительно нанесено антифрикционное покрытие АИС-2. Рабочие участки лепестков частично перекрывают друг друга, образуя непрерывный ряд клиновидных поверхностей, благодаря которым при вращении пяты возникают зоны повышенного давления, обеспечивающие несущий газовый слой. При нагружении ротора осевой силой пяты через несущий газовый слой воздействует на подпятник, упругие лепестки деформируются и опираются тыльной стороной на подкладные пружинки - 3.

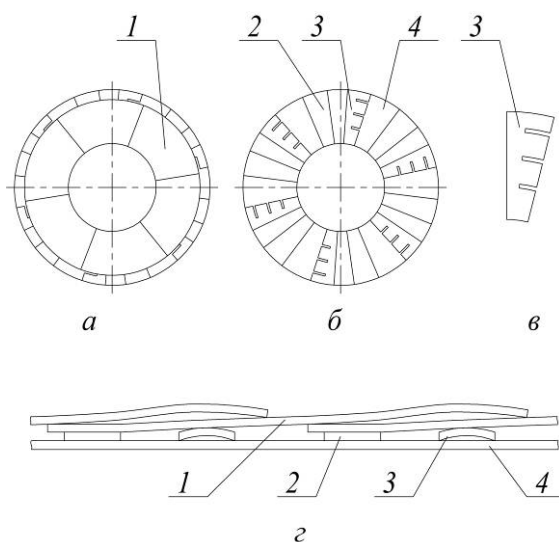


Рис.3. Лепестковый газодинамический подшипник осевой TFGB44.

При дальнейшем нагружении вместе с лепестками деформируются пружинки, жесткость подпятника возрастает, и несущая поверхность не вырождается в плоскость, а продолжает сохранять оптимальную клиновидную форму, способную развивать большую несущую способность.

Характеристики осевого подшипника TFGB44 представлены в табл.2.

Табл. Характеристики осевого подшипника TFGB44.

Тип	Диаметр пяты, мм	Наружный диаметр платы, мм	Внутренний диаметр платы, мм	Число лепестков	Мак. частота вращения, об/мин	Несущая способность, Н
TFGB44	44	49	22	6	174.000	137

Успешная эксплуатация высокоскоростных машин с подпятниками подобной конструкции подтвердила их экологичность, надежность и повышенный ресурс.

Полный каталог лепестковых газодинамических подшипников можно посмотреть на <http://foil-bearing.ru/index/0-2>.