

УДК 621.822.572.-405.8

**ПРИМЕНЕНИЕ ПОДШИПНИКОВ НА ГАЗОВОЙ СМАЗКЕ****Космынин А.В., Щетинин В.С., Хвостиков А.С., Иванова Н.А., Космынин А.А.***ФГБОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»,  
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: avkosm@knastu.ru*

Изложена краткая история развития теории и практики подшипников на газовой смазке. Проанализированы достоинства и недостатки газовых опор. Показаны области рационального использования подшипников на газовой смазке в современных технических устройствах.

**Ключевые слова:** газовая смазка, координационное совещание, шпиндельные узлы на газовых подшипниках, преимущества газовой смазки

**THE USE OF A GAS LUBRICATED BEARINGS****Kosmynin A.V., Scthetinin V.S., Khvostikov A.S., Ivanova N.A., Kosmynin A.A.***<sup>1</sup>Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: avkosm@knastu.ru*

Provided a brief history of development theory and practice of gas-lubricated bearings. The advantages and disadvantages of gas bearings. Showing the management of gas-lubricated bearings in the modern technical devices.

**Keywords:** gas lubrication, a coordination meeting, spindle units on gas bearings, the advantages of gas lubrication

На возможность применения воздуха в качестве смазки подшипников впервые было указано А. Хирном еще в 1854 г. Результаты первых экспериментов с воздушной смазкой опубликованы в 1897 году, а теоретических исследований – в 1913 году. Но теория и практика применения газовой смазки оформилась в самостоятельную науку лишь в конце 50-х годов. Это связано с развитием ядерной энергетики, вычислительной техники, точного приборостроения, увеличением рабочих скоростей машин.

В нашей стране С.А. Шейнбергом в 1949 году были сконструированы и испытаны образцы пяти подшипников, смазываемых воздухом, которые могли иметь техническое применение. Но в то время подшипники с газовой смазкой рассматривались скорее как технические курьёзы, а не как проблема, которая может дать удачные решения. Однако в 1955–1959 годах, в период бурного развития ядерной энергетики, обнаружили существенные преимущества подшипников с газовой смазкой в машинах, применяемых в ядерных энергетических установках. Эти подшипники оказались весьма перспективными и в некоторых других отраслях машино- и приборостроения.

В связи с этим значительно возрос интерес к опорам с газовой смазкой и в 1959 г. был созван в Вашингтоне (США) первый международный симпозиум по проблемам газовой смазки.

В мае 1965 г. в Николаеве был проведен первый Всесоюзный научный семинар по подшипникам с газовой смазкой, а 6 июня

1966 г. был проведен там же, в Николаеве второй семинар.

На этих семинарах были доложены результаты теоретических и экспериментальных работ, выполненных исследователями из различных организаций нашей страны. Семинары способствовали объединению усилий и координации работ, разрозненных до этого отдельных исследований.

Первое координационное совещание по вопросам газовой смазки состоялось в Москве в 1968 г. Семинары и совещание показали, что в нашей стране активно ведутся исследования и начинает осуществляться практическое применение подшипников с газовой смазкой.

Итоги внедрения газовых опор скольжения в технику в мировом масштабе были проведены на 2 международном симпозиуме по газовой смазке, проходившем в г. Лас-Вегас (США) в июне 1968 г., здесь впервые участвовали и выступали с докладами представители нашей страны.

В мае 1972 г. в Москве было проведено второе координационное совещание по проблемам развития газовой смазки. Совещание показало, какой широкий размах получило в нашей стране исследование и применение подшипников с газовой смазкой в различных отраслях машиностроения и приборостроения.

Основное внимание в докладах было уделено вопросам экспериментального исследования опор с газовой смазкой, общим вопросам теории газовой смазки, вопросам устойчивости ротора на опорах с газовой смазкой. В дальнейшем координационные

совещания проводились с периодичностью в 5 лет. Публикация материалов совещаний дала возможность исследователям быть в курсе всех достижений в области развития газовой смазки в нашей стране. К сожалению, в настоящее время такие совещания не проводятся.

Достоинства газовой смазки вытекают из двух основных различий в свойствах газов и жидкостей:

– газы химически стабильны в значительно более широком интервале температур, чем жидкости;

– газы по существу менее вязки, чем жидкости.

Рассмотрим подробнее преимущества газовых подшипников по сравнению с другими видами опор и их области применения.

#### *1. Работоспособность при высоких и низких температурах.*

Подшипники скольжения и качения с жидкой смазкой могут работать при относительно низких температурах. При повышении температуры качество жидкой смазки ухудшается из-за снижения ее вязкости, несущая же способность опор с газовой смазкой, как правило, повышается за счёт увеличения вязкости газов.

#### *2. Качественные показатели опор на газовой смазке.*

Подшипники скольжения и качения с жидкой смазкой малопригодны для работы в сверхбыстроходных машинах. Для газовых подшипников высокая скорость выгодна, так как приводит к увеличению их несущей способности. При этом потери мощности у них на 2–3 порядка ниже, чем у подшипников с жидкой смазкой.

Газовые опоры успешно используются в малогабаритных турбодетандерах, приборах морской и воздушной навигации, устройствах для гидростабилизации морских судов, в зубообрабатывающем и медицинском оборудовании, измерительных устройствах, космической технике и т.д.

Наиболее широкое применение газовые опоры нашли в машиностроении в шлифовальных шпинделях и сверлильных фрезерных головках.

Современные высокоскоростные и высокоточные шлифовальные, расточные и другие станки должны обеспечивать точность формы рабочих поверхностей порядка десятых долей микрометра при чистоте поверхности  $R_a \leq 0,08$  мкм. Стабильное получение таких параметров в немалой степени связано с эксплуатационными качествами шпиндельных узлов металлорежущих

станков, применяемых при изготовлении деталей.

Достижение точности вращения шпинделя в пределах 0,5 мкм установленного на опорах качения, уже связано со значительными технологическими трудностями. Для этого шарикоподшипники приходится изготавливать с весьма высокой точностью.

Опыт эксплуатации шпиндельных узлов шлифовальных станков с опорами различных типов показал, что в ряде случаев применение газостатических опор более предпочтительно, поскольку такие опоры способны, из-за усредняющего эффекта газового слоя обеспечить точность вращения шпинделя равную 0,02...0,04 мкм.

Кроме этого шпиндельные узлы с газовыми опорами обладают следующими преимуществами по сравнению со шпиндельными узлами на опорах качения:

а) отсутствием металлического контакта, а, следовательно, долговечностью при неизменном качестве шлифования;

б) малым трением, обусловленным небольшой динамической вязкостью газа и, следовательно, малым тепловыделением. Это позволяет увеличить мощность, передаваемую на шлифовальный круг, исключить время для разогрева шпинделя, т.е. повысить производительность труда;

в) почти полным отсутствием вибрации;

г) возможностью балансировки шлифовального круга непосредственно на шпинделе. Также следует учесть, что большая толщина воздушного слоя (по сравнению с высотой микронеровностей поверхности шейки вала) способствует тому, что неточности изготовления шейки вала практически не влияют на точность вращения шпинделя.

Шпиндель на газостатических опорах можно считать абсолютно жестким по сравнению с жесткостью газового слоя, то есть он практически не имеет деформации в воздушном зазоре.

Первые шпиндельные головки на опорах с воздушной смазкой в нашей стране были разработаны и внедрены ЭНИМСом под руководством С.А. Шейнберга. Учеными института Машиноведения АН СССР разработаны конструкции метрологического оборудования на газовой смазке для замера чистоты поверхности, активно велись разработки в области применения газовой смазки в вычислительной технике и гироскопических устройствах.

Имея большую жесткость и высокие скорости шлифования, шпиндели на газовых опорах обеспечивают высокое качество об-

рабатываемых поверхностей, и способствуют повышению производительности труда.

Но количество видов разработанных конструкций невелико и выпуск их крайне ограничен, поэтому актуальным является вопрос замены подшипников качения на опоры с газовой смазкой, для обеспечения высокой точности обрабатываемых изделий. Во всех конструкциях ЭНИМСа применялись в качестве газостатических опор подшипники с дискретными отверстиями малых диаметров (меньше 1 мм), которые, во-первых, трудно изготавливать и, во-вторых, существует реальная опасность засорения отверстий.

В Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете разработана конструкция шпинделя внутришлифовального станка на газостатических опорах скольжения с пористыми вставками с рабочей частотой вращения  $30000 \text{ мин}^{-1}$  [2, 4]. Это позволило упростить технологию изготовления вкладышей подшипников и создать в подшипниках более устойчивый несущий слой газа, вследствие увеличения полезной площади подачи газа. Продолжением такой работы явилось создание комбинированной – газоманитной опоры [5], основы теоретических расчетов которой заложены в работах [8, 10], а результаты экспериментальных исследований освещены в работах [1, 3, 6, 9]. Комплекс выполненных исследований позволил создать опытно-промышленный образец высокоскоростного шпиндельного узла на газоманитных опорах [7].

Заметим, что опоры с газовой смазкой также успешно применяются и в качестве направляющих металлообрабатывающих станков.

### *3. Долговечность и надежность.*

У подшипников с газовой смазкой на рабочих режимах практически отсутствует износ. Подшипник не изнашивается, если газ не содержит взвешенных твердых частиц и если они по своей природе не вызывают коррозии.

Американские ученые на втором международном симпозиуме отмечали, что турбомшины на опорах с газовой смазкой очень надежны и долговечны в работе. Так одной из первых разработок в этом направлении являлось создание американской фирмой «Дженерал Электрик» авиационного турбогенератора мощностью 60 кВт для бомбардировщика В-52.

По данным ЭНИМСа срок службы опор внутришлифовальных шпинделей на газо-

вой смазке составляет 15000–20000 часов, что превышает срок службы шпинделей на опорах качения в 3–5 раз. Поэтому для любых практических целей газовые опоры можно считать достаточно долговечными.

### *4. Стойкость против радиационного облучения.*

В газоохлаждаемых реакторах циркуляцию рабочего тела в первом контуре создают компрессоры и вентиляторы, которые работают при высоком уровне радиации. В таких условиях большинство обычных смазок разрушается, в то время как многие газы устойчивы против радиации.

### *5. Отсутствие загрязнения.*

Газовая смазка предотвращает загрязнение окружающей среды, что особенно важно в ядерных силовых установках. Примером турбомшины с газовыми подшипниками, в которой требуется «нулевое» загрязнение рабочего тела может служить неоновый компрессор для реактора. Установка представляет собой высокотемпературный газоохлаждаемый реактор, в котором загрязнение теплоносителя недопустимо, так как может ухудшить теплопередачу в реакторе и уменьшить срок его службы.

### *6. Упрощение конструкции.*

По сравнению с подшипниками на жидкостной смазке газовые подшипники не требуют сложных агрегатов смазки (насосов), систем возврата смазки, системы охлаждения масла, фильтров. Кроме того, обычные уплотнения здесь оказываются непригодными, громоздкими и малоэффективными.

В отечественной и иностранной технической литературе имеются сведения о все более широком применении газовых опор в технике. Например, газовые подшипники применяются в метрологическом оборудовании для замера чистоты поверхности. В приборостроении эти подшипники нашли применение в гироскопических устройствах.

Подшипники с газовой смазкой успешно применяются в малых вентиляторах для охлаждения электронного оборудования. Газовые сферические подвесы используют в имитаторах космических условий – для имитации стыковки, маневрирования и проверки системы ориентации.

В пищевой, химической и фармацевтической промышленности, а также в бытовой технике газовые подшипники получают распространение в таких устройствах, где требуется предотвратить загрязнение продукта или окружающих предметов, снизить шум, обеспечить компактность и удобство эксплуатации. Значительное распростране-

ние газовые опоры получили в конструкциях различных бормашин.

*7. Низкий уровень шума и вибрации.*

Одним из важных требований, предъявляемых к ручным турбопневмошлифовальным инструментам, является защита операторов от акустических и вибрационных воздействий.

Не следует, однако, полагать, что газовые подшипники универсальны, их следует применять только там, где они совершенно необходимы, так как наряду с преимуществами они имеют и некоторые недостатки, а именно:

а) подшипники этого типа требуют высокой точности обработки;

б) для работы газостатических подшипников нужен источник газа повышенного давления;

в) в связи с небольшой величиной вязкости газа эти подшипники имеют небольшую несущую способность.

Однако исследования показывают, что эти недостатки чаще всего можно преодолеть, поэтому подшипники с газовой смазкой могут широко применяться в различных машинах и приборах, как и подшипники с жидкой смазкой.

**Список литературы**

1. Влияние размера магнитопровода на характеристики шпиндельного узла с газомангнитной опорой / А.В. Кос-

мынин, В.С. Щетинин, А.С. Хвостиков, А.В. Смирнов, С.С. Блинков // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12–1. – С. 129–132.

2. О результатах экспериментальной проверки расчётных характеристик высокоскоростных шпиндельных узлов металлорежущих станков с частично пористыми газостатическими опорами / А.В. Космынин, В.И. Шаломов, И.Г. Суходоев, С.В. Виноградов // *Фундаментальные исследования*. – 2009. – №1. – С. 32–33.

3. Стенд для исследования выходных характеристик шпиндельного узла на газомангнитных опорах / А.В. Космынин, В.С. Щетинин, Н.А. Иванова, А.С. Хвостиков, С.С. Блинков // *СТИН*. – 2010. – №5. – С. 8–10.

4. Космынин А.В., Шаломов В.И. Аэростатические шпиндельные опоры с частично пористой стенкой вкладыша // *Современные проблемы науки и образования*. – 2006. – № 2. – С. 69–70.

5. Космынин А.В., Щетинин В.С., Виноградов С.В. Комбинированная опора шпиндельного узла // *Фундаментальные исследования*. – 2007. – №12–1 – С. 83–84.

6. Космынин А.В., Щетинин В.С. Влияние магнитной силы в газомангнитных подшипниках на эксплуатационные показатели высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования // *Вестник машиностроения*. – 2010. – №5. – С. 24–25.

7. Космынин А.В., Щетинин В.С., Иванова Н.А. Шпиндельные узлы на газомангнитных опорах // *Фундаментальные исследования*. – 2008. – №10. – С. 76.

8. Космынин А.В., Щетинин В.С. Расчет несущей способности газомангнитных опор высокоскоростных шпиндельных узлов // *СТИН*. – 2010. – №9. – С. 6–8.

9. Космынин А.В., Щетинин В.С. Эксплуатационные показатели высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования с газомангнитными опорами // *Успехи современного естествознания*. – 2009. – №11. – С. 69–70.

10. Щетинин В.С., Космынин А.В. Математическая модель расчета несущей способности высокоскоростного шпиндельного узла на газомангнитной опоре // *Трение и смазка в машинах и механизмах*. – 2010. – № 8. – С. 31–35.