

Космынин А.В., Щетинин В.С.

A.V.Kosmynin, V.S.Schetinin

05.08.05

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ГАЗОМАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА DEFINING LOAD CAPACITY OF A GAS-MAGNETIC BEARING IN A HIGH-SPEED SPINDLE ASSEMBLY



Космынин Александр Витальевич, доктор технических наук, профессор, декан ФЭТМТ, Комсомольский-на-Амуре Государственный технический университет (КНАГТУ), тел. 8 (4217) 534191. E-mail: avkosm@knastu.ru

Alexander V. Kosmynin — Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Power Engineering, Transport and Marine Technologies, State Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur), phone: 8 (4217) 534191, e-mail: avkosm@knastu.ru.



Щетинин Владимир Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, докторант, Комсомольский-на-Амуре Государственный технический университет (КНАГТУ), тел. 8 (4217) 531474. E-mail: schetynin@mail.ru

Alexander V. Kosmynin — Doctor in Engineering, Professor, Head of the Department of Power Engineering, Transport and Marine Technologies, State Komsomolsk-on-Amur Technical University (Komsomolsk-on-Amur), phone: 8 (4217) 531474, e-mail: schetynin@mail.ru.

Аннотация: Рассмотрена методика расчета несущей способности газоманитной опоры высокоскоростного шпиндельного узла. Учтено влияние на характеристики шпиндельного узла магнитной силы и сил, созданных газовым слоем от внешнего наддува, и газодинамического эффекта.

Summary: The paper examines the method of calculation of load capacity of a gas-magnetic bearing in a high-speed spindle assembly. We took into account the influence of magnetic force and forces created by pressure-fed gas layer and of gas-dynamic effect upon the parameters of a spindle assembly.

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

Keywords: spindle assembly, gas-magnetic bearing, spindle bearings, gas-static bearings, load capacity of a bearing, spindle assembly rigidity.

Развитие современной промышленности предъявляет повышенные требования к технологическому оборудованию по производительности и точности. Одним из видов такого оборудования являются шлифовальные станки, применяемые на финишных опе-

рациях. В основном точность и производительность такого оборудования зависит от шпиндельного узла, установленного на станок.

Высокоскоростные шпиндельные узлы для шлифовальных станков должны обладать достаточной несущей способностью для обеспечения высокой производительности. Для достижения высоких скоростей в шпиндельных узлах применяют газостатические или магнитные опоры.

Газостатические опоры способны обеспечить высокие скорости вращения вала и практически являются долговечными из-за отсутствия контакта между шипом и вкладышем [1]. Главным недостатком этих опор является сравнительно низкая несущая способность. Поэтому они находят ограниченное применение в машиностроении. Известны также бесконтактные опоры на магнитных подвесах. Широкое применение магнитных подвесов затрудняется сложностью их управления, а также тепловыделением от индукционных токов, возникающих от перемагничивания вала, вращающегося на высокой частоте.

Для расширения области использования бесконтактных опор в высокоскоростных устройствах предложена комбинированная газоманитная опора [2], которая обладает повышенной несущей способностью за счёт сложения магнитных и газовых сил. При этом газ, проходящий через зазор между валом и вклады-

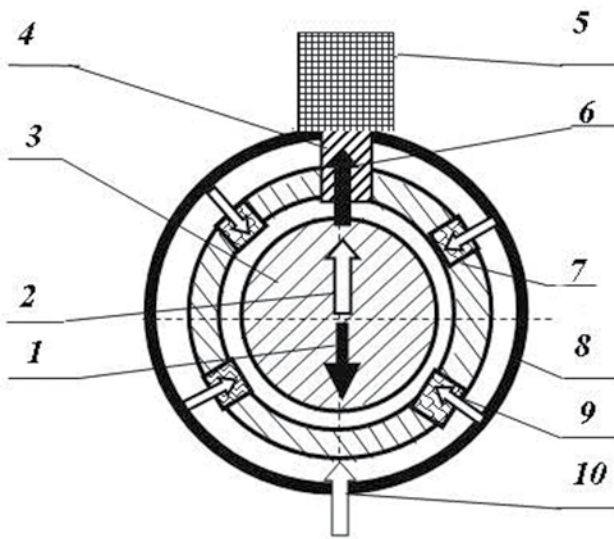


Рис. 1. Конструкция газомангнитной опоры:
 1- внешняя нагрузка; 2-газостатическая сила;
 3-шпиндель; 4-магнитопровод; 5-электромагнит;
 6- магнитная сила; 7-пористая вставка; 8- корпус;
 9- наддув газа в пористые вставки; 10 - подача газа

узлах, в которых основная нагрузка от сил резания ориентирована в радиальном направлении.

Методика расчета газовых опор с пористыми вставками достаточно полно представлена в монографии [3], а практические расчеты активных магнитных подвесов изложены в работе [4]. В настоящей работе предлагается методика расчета комбинированной газомангнитной опоры с частично пористой стенкой вкладыша, принципиальная схема которой показана на рис. 1.

Так как поле давления газовой смазки и магнитное поле имеют разную физическую природу, то они не оказывают влияния друг на друга. Учитывая вышесказанное, силовое взаимодействие газового и магнитного полей на вал допустимо рассматривать отдельно. Тогда несущую способность комбинированной опоры найдем как векторную сумму двух сил - магнитной и газовой:

$$\vec{Q} = \vec{Q}_z + \vec{Q}_m,$$

где \vec{Q}_z - газовая составляющая несущей способности; \vec{Q}_m - магнитная составляющая несущей способности.

На рис. 2 представлена расчётная схема газомангнитного подшипника.

Силу притяжения магнитного подвеса определим из уравнения:

шем, является охлаждающим агентом. Это, в свою очередь, позволяет применять большие магнитные силы. Управление магнитным подвесом в газомангнитной опоре не требуется, так как система является самоорганизующейся. При смещении вала в эксцентричное положение магнитные и газовые силы противостоят внешней нагрузке, в результате чего шип занимает определённое пространственное положение.

Предлагаемый тип опоры целесообразно использовать, например, в высокоскоростных шпиндельных

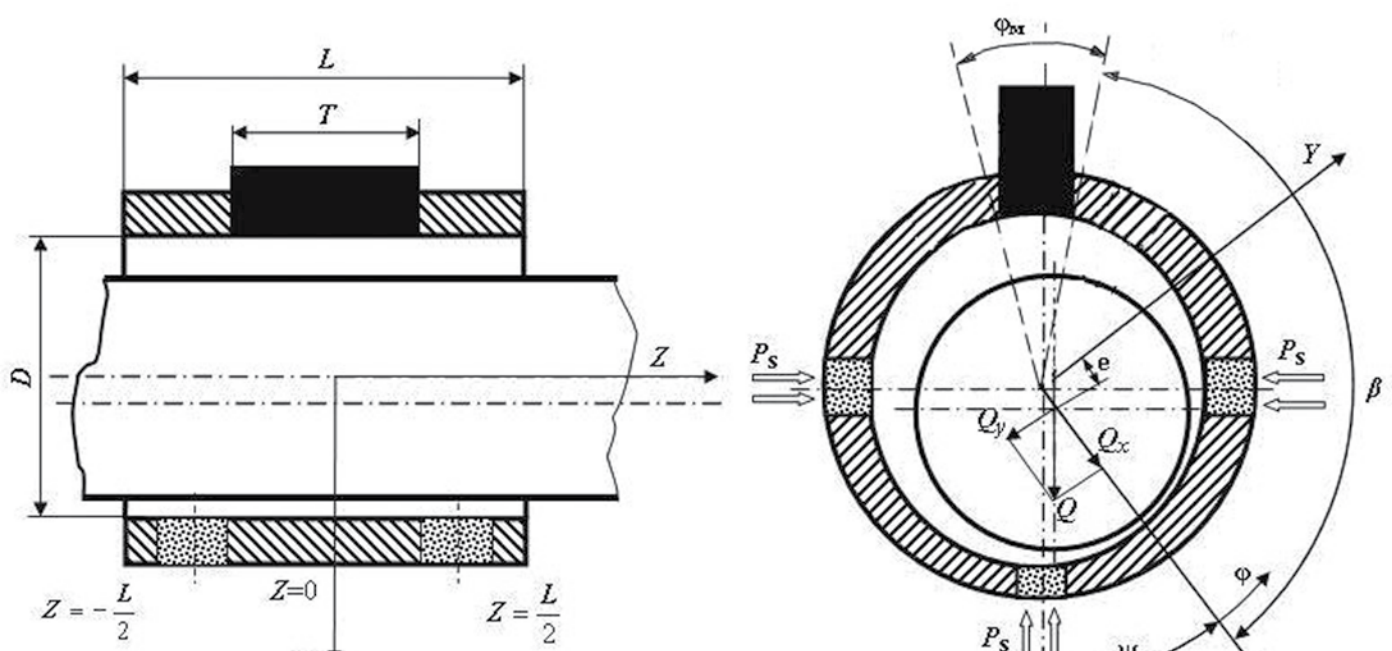


Рис. 2. Расчётная схема газомангнитной опоры:
 1 – пористая цилиндрическая вставка; 2 – непроницаемая втулка; 3- сердечник соленоида

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛЕЗНОЙ НАГРУЗКИ ГАЗОМАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА

$$dQ_M = \frac{B^2}{2\mu_0} dS, (1)$$

где μ_0 - магнитная постоянная.

Из уравнения (1) следует, что магнитная сила притяжения, действующая на элемент площади ферромагнитного тела (dS) в однородном магнитном поле прямо пропорциональна индукции в зазоре (B). Поскольку отношение величины зазора между магнитопроводом и валом к линейным размерам поверхности магнитопровода меньше, чем 10^{-4} , то примем допущение об однородности магнитного поля.

Учитывая изменение индукции от величины зазора, зависимость (1) можно представить в виде:

$$dQ_M = K_3 h^{-2} dS,$$

где $K_3 = 0,5\mu_0(i\pi)^2$ - коэффициент учитывающий электрические параметры соленоида; i - сила тока в соленоиде; n - число витков соленоида, h - воздушный зазор между валом и полюсом электромагнита.

Несущая способность магнитного подвеса определим как:

$$Q_M = \sqrt{Q_{xM}^2 + Q_{yM}^2},$$

где Q_{xM} и Q_{yM} - проекции на ось x и y вектора магнитной силы. Эти проекции находятся из выражений:

$$Q_{xM} = K_3 B T \left[\cos\left(\psi - \frac{\varphi_M}{2}\right) \int_{\beta}^{\beta+\varphi_M} \frac{d\varphi}{h^2} \right], (2)$$

$$Q_{yM} = K_3 B T \left[\sin\left(\psi - \frac{\varphi_M}{2}\right) \int_{\beta}^{\beta+\varphi_M} \frac{d\varphi}{h^2} \right]$$

где ψ – угол положения нагрузки, β – окружная координата начала первого полюса, φ_M - полюсный угол, T – длина электромагнита, B – ширина электромагнита.

Используя зависимости (2), а также методику расчета газостатической опоры [3], выполним оценочный расчет несущей способности газостатической и газомагнитной опор и попутно сравним с опытными данными. Описание конструкции экспериментального стенда и результатов эксперимента приведены в работе [5].

Расчеты, как и эксперимент, проведены для опоры длиной $L=60$ мм и диаметром вкладыша $D=50$ мм при абсолютном давлении наддува $p=6$ МПа.

На рис. 3 показана зависимость несущей способности опор Q от частоты вращения вала n и относитель-

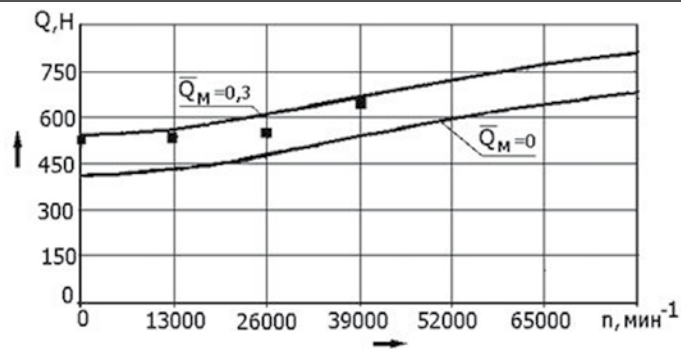


Рис. 3. Зависимость несущей способности опор Q от частоты вращения вала n и относительной магнитной силы \bar{Q}_M

ной магнитной силы \bar{Q}_M , которая определяет долю магнитной силы от максимальной газостатической силы:

$$\bar{Q}_M = \frac{Q_M}{Q_z^{max}} = \frac{Q_M}{pLD}$$

Как видно из представленных графиков, несущая способность газомагнитного подшипника при $\bar{Q}_M = 0,3$ на 10...30% выше, чем у газостатической опоры ($Q_M = 0$). При этом экспериментальные точки, соответствующие $\bar{Q}_M = 0,3$, достаточно близко лежат к теоретической кривой.

В настоящее время в Комсомольском-на-Амуре ГТУ ведутся работы по широкомасштабному исследованию характеристик газомагнитных опор и высокоскоростных шпиндельных узлов шлифовальных станков с такими опорами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пуш А.В. Шпиндельные узлы: Качество и надёжность. -М.: Машиностроение. 1992.-228с.
2. Пат. 2347960 РФ. Способ работы подшипникового узла и подшипниковый узел / Космынин А.В., Щетинин В.С.; заявитель и патентообладатель Комсомольский-на-Амуре государственный технический ун-т. - № 2007120545/11; заявл. 01.06.07; опубл. 27.02.09. Бюл. №6. – 2с.
3. Космынин А.В. и др. Эксплуатационные характеристики газовых опор высокоскоростных шпиндельных узлов. – М.: Академия Естествознания, 2006. – 219с.
4. Журавлёв Ю.П. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003.- 206с.:ил.
5. Космынин А.В., Щетинин В.С., Иванова Н.А. Применение магнитной силы в газостатических опорах высокоскоростных шпиндельных узлов// Вестник машиностроения. - 2009.- №5. -С19-21.