

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

ЗАВИСИМОСТЬ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ОТ ДОЛИ ПОРИСТОСТИ ИХ ЧАСТИЧНО ПОРИСТЫХ ГАЗОСТАТИЧЕСКИХ ПОДШИПНИКОВ

DEPENDENCE OF THE OUTPUT CHARACTERISTICS OF SPINDLE ASSEMBLIES ON THE POROSITY FRACTION OF THEIR PARTIALLY POROUS GAS-STATIC BEARINGS

Щетинин Владимир Сергеевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортно-технологические комплексы» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Россия, Хабаровск); тел. 8(924)226-00-56. E-mail: schetynin@mail.ru.

Vladimir S. Shchetinin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport and Technological Complexes, Far Eastern State University of Railways (Khabarovsk, Russia); tel. 8(924)226-00-56. E-mail: schetynin@mail.ru.

Космынин Артем Александрович – аспирант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); тел. 8(914)164-10-55. E-mail: avkosm@mail.ru.

Artem A. Kosmynin – Postgraduate Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); tel. 8(914)164-10-55. E-mail: avkosm@mail.ru.

Аннотация. Рассмотрено влияние доли пористости частично пористых газостатических подшипников на выходные характеристики шпиндельного узла (ШУ) металлорежущего станка. Анализу подвергнуты нагрузочные и жёсткостные характеристики ШУ. В результате выполненного комплекса исследований сделан вывод о заметном влиянии на них доли пористости газостатических опор. В дальнейшем предложено искать инженерное решение по автоматическому регулированию доли пористости газостатических подшипников.

Summary. The influence of the porosity fraction of partially porous gas-static bearings on the output characteristics of the spindle assembly (SA) of a metal-cutting machine is considered. The load and stiffness characteristics of the SA are analyzed. As a result of the performed complex of studies, it was concluded that the proportion of porosity of gas-static supports had a noticeable effect on them. In the future, it is proposed to look for an engineering solution for automatic regulation of the porosity fraction of gas-static bearings.

Ключевые слова: доля пористости, газостатический подшипник, шпиндельный узел, нагрузочные и жёсткостные характеристики.

Key words: porosity fraction, gas-static bearing, spindle assembly, load and stiffness characteristics.

УДК 621.822.572.-405.8

Применение газостатических подшипников в шпиндельных узлах (ШУ) металлообрабатывающего оборудования позволяет существенно повысить их быстроходность и, соответственно, уменьшить время на обработку деталей. В настоящее время опубликовано много работ, посвящённых результатам исследований характеристик как газостатических подшипников, так и ШУ, в конструкции которых они используются. Тем не менее остаётся ещё ряд важных задач, которые выпали из поля зрения учёных.

Проведённые ранее исследования [1–6] показали, что выходные характеристики ШУ на газостатических опорах с частично пористой стенкой вкладыша, а именно нагрузка и жёсткость, измеренные на режущем инструменте, заметно зависят от ряда конструктивных параметров подшипников: длины и диаметра опоры; формы, размера и количества пористых вставок в ряду наддува и т. д. При этом практически открытым остаётся вопрос о влиянии доли пористости газовой опоры на собственные характеристики и на выходные характеристики ШУ в целом. Под долей пористости газостатической опоры $\bar{\sigma}$ понимается отношение суммарной площади пористых ограни-

чителей расхода к площади вкладыша подшипника, которая равна πDL , где D – диаметр вкладыша, L – длина подшипника.

В работе [4] выполнена оценка влияния на выходные характеристики ШУ конструктивных особенностей полностью пористых и частично пористых газостатических опор. Однако выполненный комплекс исследований не в полной мере раскрыл влияние доли пористости на исследуемые характеристики. Настоящая работа в какой-то мере восполняет этот пробел.

Когда влияние эффекта смазочного клина на эксплуатационные характеристики газостатических подшипников малó, что наблюдается при низкой частоте вращения шпинделя, выходные характеристики ШУ принято представлять в зависимости от безразмерного конструктивного параметра K_C , прямо пропорционального среднему радиальному зазору c :

$$K_C = c \cdot \sqrt[3]{\frac{\delta}{12 \cdot k_p \cdot R}},$$

где δ – толщина пористой вставки; R – радиус опоры; k_p – коэффициент газопроницаемости материала пористой вставки.

Расчёт выходных характеристик ШУ на газостатических опорах с частично пористой поверхностью вкладыша выполнен при доле пористости $\bar{S}$ равной 0,075, 0,113 и 0,151 по методике, изложенной в работе [4].

Зависимости относительной нагрузки $\bar{F}$ на консоли шпинделя от доли пористости $\bar{S}$ и конструктивного параметра K_C показаны на рис. 1.

Из представленных зависимостей видно, что практически во всём диапазоне изменения конструктивного параметра K_C наибольшая относительная нагрузка на выходном конце шпинделя $\bar{F}$ достигается при значении доли пористости $\bar{S} = 0,151$, что является следствием увеличения общей площади пористой поверхности питания опоры газом. Прирост максимума относительной нагрузки $\bar{F}$, связанный с изменением доли пористости, составляет 24 % при изменении $\bar{S}$ от 0,075 до 0,113 и только 5 % – при изменении $\bar{S}$ от 0,113 до 0,151. Из этого следует вывод, что повышение пористой площади вкладышей ведёт к росту нагрузки на шлифовальном круге, однако он заметно замедляется при увеличении доли пористости.

Помимо этого, следует отметить, что с ростом доли пористости происходит смещение максимума нагрузочных характеристик в сторону увеличения конструктивного параметра.

Вторым главным выходным параметром шпиндельного узла является жёсткость, измеренная на режущем инструменте, от значения которой зависит точность обработки заготовки.

Жёсткость смазочного слоя газового подшипника J определим по формуле

$$J = dF/dy,$$

где F – нагрузка на режущем инструменте, y – смещение оси режущего инструмента.

Последнее выражение представим в виде

$$J = \frac{Q_{\max}}{c} k_J,$$

k_J – коэффициент жёсткости; $Q_{\max}$ – максимальная теоретическая грузоподъёмность газовой опоры; c – средний радиальный зазор.

Проанализируем изменение коэффициента жёсткости газостатической опоры. На рис. 2 представлена зависимость коэффициента жёсткости k_J на режущем инструменте от доли пористости $\bar{S}$ и конструктивного параметра K_C .

Из элементарного анализа представленных зависимостей можно сделать заключение, что увеличение доли пористости сопровождается ростом коэффициента жёсткости. Это связано тем, что при работе опоры в режиме подвеса с увеличением площади пористой поверхности наблюдается более интенсивный рост грузоподъёмности опоры с увеличением смещения шпинделя во вкладыше подшипника.

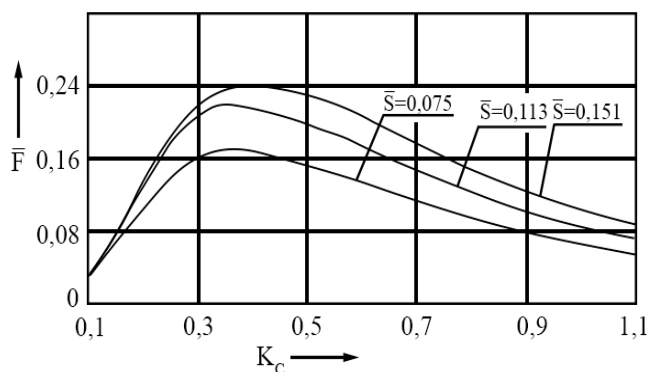


Рис. 1. Зависимости относительной нагрузки $\bar{F}$ на консоли шпинделя от доли пористости $\bar{S}$ и конструктивного параметра K_C

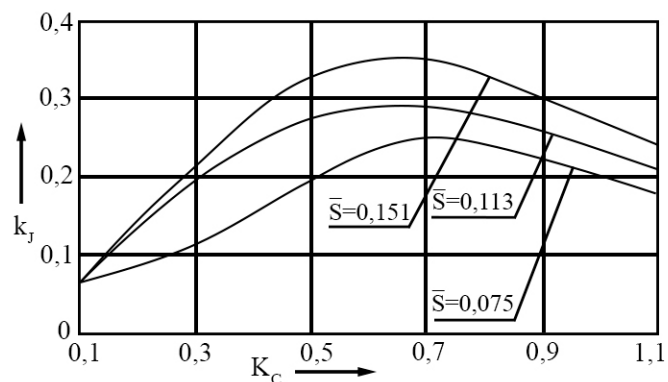


Рис. 2. Зависимость коэффициента жёсткости k_J на режущем инструменте от доли пористости $\bar{S}$ и конструктивного параметра K_C

На основании выполненного анализа нагрузочных и жёсткостных характеристик ШУ можно сделать вывод о заметном влиянии на них доли пористости газостатических опор. Следовательно, необходимы дальнейшие поиски инженерного решения по осуществлению регулирования значения доли пористости газостатической опоры шпиндельного узла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щетинин, В. С. Методика расчёта выходных характеристик шпиндельного узла на бесконтактных опорах с внешним наддувом газа / В. С. Щетинин, А. А. Космынин, С. Б. Марьин // Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. – 2024. – № V (77). – С. 55-60.
2. Бесконтактные опоры высокоскоростных роторных систем. Эксплуатация и проектирование: моногр. / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, А. В. Смирнов, А. С. Хвостиков. – М.: Инфра-Инженерия, 2022. – 372 с.
3. Выходные характеристики высокоскоростных шпиндельных узлов на газовых опорах: моногр. / А. В. Космынин, В. С. Щетинин, В. И. Шаломов [и др.]; под общ. ред. А. В. Космынина. – М.: Издательский дом «Академия Естествознания», 2011. – 178 с.
4. Частично пористые газостатические опоры шпиндельных узлов: теория и эксперимент: моногр. / А. В. Космынин, С. В. Виноградов, В. С. Виноградов [и др.]. – М.: Издательский дом «Академия Естествознания», 2011. – 125 с.
5. Шпиндельные узлы металлорежущих станков на опорах с внешним наддувом газа для финишной обработки отверстий малого диаметра / В. С. Щетинин, А. В. Космынин, А. В. Ульянов, А. А. Ваньков // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-19. – С. 4192-4196.
6. Космынин, А. А. Зависимость выходных характеристик высокоскоростных шпиндельных узлов от площади частично пористой поверхности газостатических опор / А. А. Космынин, В. С. Щетинин // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2024. – С. 34-36.