

УДК 621.822.572.-405.8

ПОВЫШЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ШПИНДЕЛЬНОГО УЗЛА НА ГАЗОМАГНИТНЫХ ОПОРАХ ПУТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ УСИЛИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТА

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*

Рассмотрено влияние управления тяговым усилием электромагнита на выходные характеристики высокоскоростного шпиндельного узла с передней газомангнитной опорой. Проанализированы зависимости несущей способности и жесткости шпиндельного узла от изменения магнитной силы в опоре. Показано, что управление тяговым усилием электромагнита позволяет существенно повысить жесткость шпиндельного узла, измеренную на режущем инструменте.

Ключевые слова: шпиндельный узел, газомангнитная опора, газостатические подшипники, несущая способность, жесткость шпиндельного узла, управление тяговым усилием электромагнита

THE INCREASED RIGIDITY OF SPINDLE UNITS BEARINGS FOR BY CONTROL GAS-MAGNETIC TRACTION SOLENOID

Kosmynin A.V., Sethetinin V.S., Khvostikov A.S., Ivanova N.A., Kosmynin A.A.*Komsomolsk-on-Amur State Technical University, Komsomolsk-on-Amur, e-mail: avkosm@knastu.ru*

The influence of pulling force of the electromagnet control on the output characteristics of high-speed spindle units from the front of gas-magnetic bearings. The dependences of the bearing capacity and rigidity of the spindle units by changing the magnetic force in the support. It is shown that the control of a pulling force of the electromagnet can significantly increase the rigidity of the spindle units, as measured on the cutting tool.

Keywords: spindle units, gas-magnetic bearing, gas-static bearings, bearing ability, rigidity spindle units, traction control solenoid

Требования, предъявляемые к современным высокоточным станкам, например расточной и шлифовальных групп, по точности формы рабочих поверхностей до десятых долей микрона и чистоте поверхности $R_a \leq 0,08$ мкм. Обеспечение таких требований во многом зависит от эксплуатационных параметров опор шпиндельных узлов (ШУ) металлорежущих станков.

В современных конструкциях высокоскоростных ШУ применяют опоры качения, гидростатические, гидродинамические, газостатические и магнитные подшипники.

К быстроходным опорам ШУ можно отнести все бесконтактные подшипники, а также подшипники качения с керамическими телами с применением маслораздушного смазывания. Однако, ресурс подшипников качения в несколько раз меньше ресурса бесконтактных опор. Кроме этого, ниже и точность вращения, заложенная геометрией подшипника.

Недостаток опор скольжения с жидкой смазкой (как гидродинамических, так и гидростатических), состоит в значительном выделении тепла в результате относительного скольжения слоёв смазки, поскольку мощность, затрачиваемая на трение, пропорциональна вязкости смазки и квадрату скорости вращения.

Шпиндельные газостатические опоры способны развить быстроходность до $2,5 \cdot 10^6$ мм·мин⁻¹ и обеспечить точность вращения шпинделя, равную 0,02...0,04 мкм. Преимущества высокоскоростных шпинделей на газовых опорах состоит в простоте конструкции и независимости от температурных режимов [2, 4]. Главным недостатком газовых подшипников является сравнительно невысокая несущая и демпфирующая способность смазочного слоя, что при повышенных силах резания ведёт к снижению точности обработки и возможной потере устойчивой работы подшипника. Поэтому, такие опоры, как правило, применяют в малонагруженных ШУ.

Следует также отметить, что применение электромагнитных опор ведет к росту стоимости шпиндельного узла из-за необходимости использования сложной электронной аппаратуры и дополнительных периферийных компонентов, кроме этого к недостаткам следует отнести сравнительно невысокую несущую способность. Вместе с тем, шпиндельные узлы на магнитных опорах позволяют достигать высоких скоростей вращения, и к ним не предъявляют высоких требований к точности рабочих поверхностей опор. Заметим, что в технической литературе отсутствуют сведения по

исследованию точности вращения шпинделя, установленного на магнитные опоры.

Анализируя преимущества и недостатки ШУ на электромагнитных и газостатических опорах, можно сделать вывод, что одним из дальнейших способов улучшения характеристик ШУ возможно путем использования в их конструкции комбинированных опор, сочетающих в себе преимущества как газовых, так и магнитных подшипников. В Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете предложена конструкция такой газомангнитной опоры [5].

Для расчета нагрузочных характеристик и жесткости на консоли шпинделя разработана методика, которая подробно описана

в работах [8, 10]. На основе полученной методики, разработан пакет программ для ПЭВМ, позволяющий с достаточной для инженерной практики точностью рассчитывать нагрузочные и жесткостные характеристики ШУ с газомангнитными опорами [7].

Комплекс экспериментов выполнен на стенде, описание которого и методика проведения эксперимента изложены в работе [3].

На рис. 1 представлены теоретические и экспериментальные нагрузочные и жесткостные характеристики ШУ с передней газомангнитной опорой в зависимости от относительного значения тягового усилия электромагнита \bar{F}_M . Более подробно результаты исследования таких ШУ изложены в работах [1, 6].

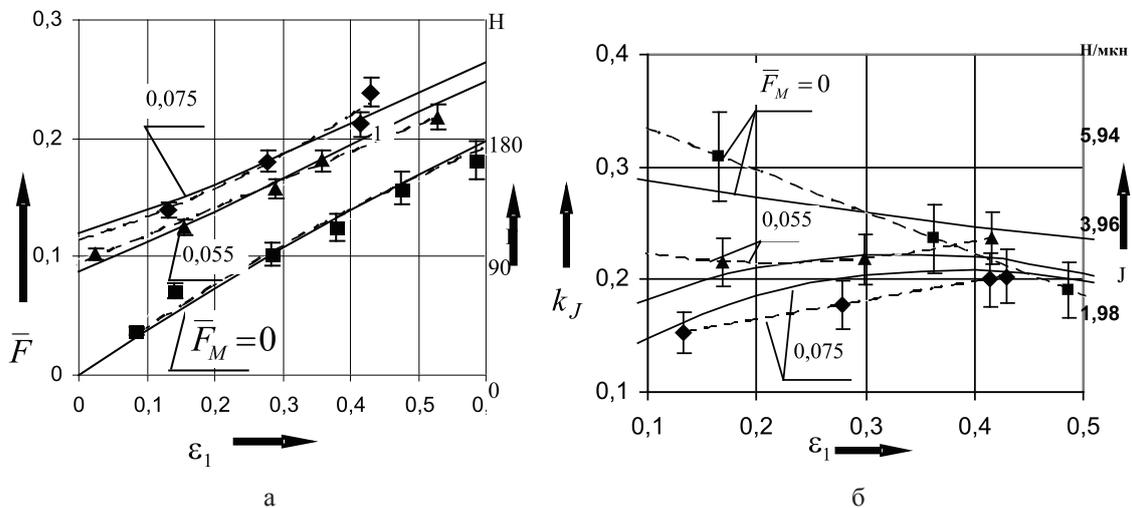


Рис. 1. Зависимость нагрузки F, \bar{F} (а) и жесткости J, k_J (б) от относительного смещения шпинделя в передней опоре ϵ_1 ; — теория; - - - опыт

В целом анализ выходных характеристик ШУ показал, что при включенном электромагнитном подвесе заметно повышается нагрузка на режущем инструменте, при одновременном снижении жесткости. Такой режим работы ШУ может быть использован на черновых и предварительных операциях обработки заготовки, когда требуются повышенные силы резания и менее значима точность обработки. Последующую чистовую обработку следует проводить без переустановки заготовки, но только с отключенным электромагнитом. В этом случае передняя опора ШУ работает как обычный газостатический подшипник, обеспечивая более высокую жесткость, чем газомангнитная опора. Очевидно, что такая эксплуатация

ШУ с передней газомангнитной опорой ведет к увеличению производительности работы [9].

Повысить жесткость на режущем инструменте ШУ при работе передней опоры с включенным магнитным подвесом можно путем управления тяговым усилием газомангнитной опоры. С этой целью выполнены экспериментальные исследования, в процессе проведения которых тяговое усилие изменялось в зависимости от смещения шпинделя. Результаты экспериментов показаны на рис. 2.

Из представленных зависимостей видно, что управление магнитной силой ведет не только к увеличению нагрузки, но и способно заметно повысить жесткость на консоли шпинделя.

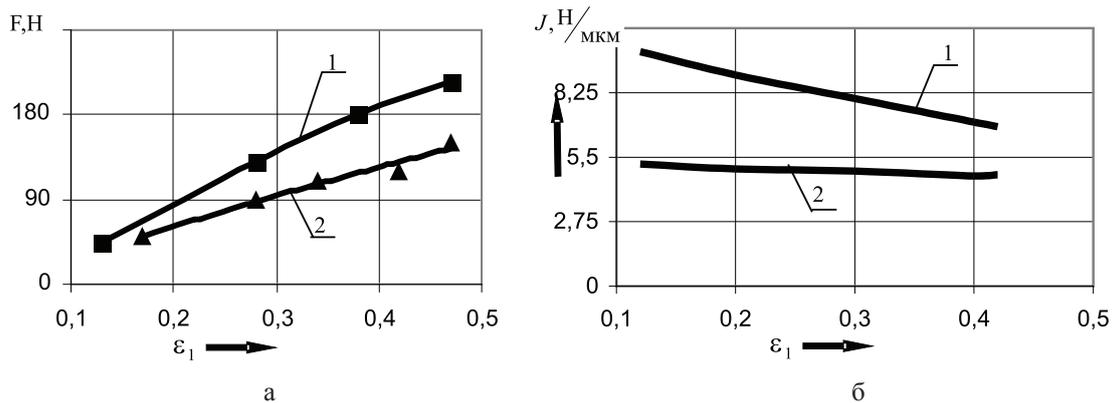


Рис. 2. Зависимость нагрузки F (а) и жесткости J (б) от относительного смещения передней опоры ε_1 :
 1 – при отключенном электромагните; 2 – при включенном электромагните в режиме автоматического управления ($n = 21000 \text{ мин}^{-1}$)

Список литературы

1. Космынин А.В. Влияние размера магнитопровода на характеристики шпиндельного узла с газомангнитной опорой / А.В. Космынин, В.С. Щетинин, А.С. Хвостиков, А.В. Смирнов, С.С. Блинков // *Фундаментальные исследования*. – 2011. – № 12–1. – С. 129–132.

2. Космынин А.В. 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. Космынин А.В. 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.