

**Саблин П. А., Щетинин В. С.**  
**P. A. Sablin, V. S. Shchetinin**

## **ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕХАНООБРАБОТКИ С ПОМОЩЬЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСКОНТАКТНЫХ ОПОР**

### **INCREASING THE ACCURACY OF MACHINING WITH THE USE OF CONTACTLESS SUPPORTS**

**Саблин Павел Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: ikpmto@knastu.ru.

**Pavel A. Sablin** – PhD in Engineering, Assistant Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: ikpmto@knastu.ru.

**Щетинин Владимир Сергеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры «Машиностроение» Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: schetynin@mail.ru.

**Vladimir S. Shchetinin** – Doctor of Engineering, Professor, Mechanical Engineering Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 27, Lenin Pr., Komsomolsk-on-Amur, 681013. E-mail: schetynin@mail.ru.

**Аннотация.** Рассмотрено применение бесконтактных опор в шпиндельных узлах металлорежущих станков при высокоскоростной обработке. Приводятся результаты точности и качества обработки деталей на станках с газостатическими и газомангнитными опорами.

**Summary.** The use of contactless supports in the spindle units of metal-cutting machines at high-speed processing is considered. The results of accuracy and quality of parts processing on machine tools with gas-static and gas-magnetic bearings are presented.

**Ключевые слова:** качество обработки резанием, бесконтактные опоры, высокоскоростная обработка, газомангнитные опоры, шпиндельный узел.

**Key words:** cutting quality, non-contact bearings, high-speed machining, gas magnetic bearings, spindle assembly.

УДК 621.9044

В современном автоматизированном производстве, где количество безлюдных технологий неумолимо растёт, роль контроля за каким-либо процессом или результатом повышается в разы. В этой связи вопрос обеспечения высокой точности изготовления деталей в условиях автоматизированного производства, которым занимаются ведущие научные школы страны и мира, а также ведущие предприятия, остаётся актуальным и по сей день.

Качество обработки поверхности является как составным параметром точности обработки, так и самостоятельным параметром. Например, если обеспечить высокую точность линейного размера, то высокое качество обработанной поверхности обеспечивается автоматически (по умолчанию). Но в то же время данное правило никак не действует в «обратном направлении»: если обеспечить высокое качество обработанной поверхности, нельзя однозначно говорить о том, что мы обеспечили высокую точность.

Развитие промышленности постоянно предъявляет требования к повышению качества и точности обработки деталей. Повышению качества и точности металлообработки уделяется постоянное внимание [1–3]. Если качество обработки в большей степени зависит от процессов, происходящих в зоне резания, и динамических колебаний инструмента и заготовки друг относительно

друга, то точность обработки зависит в большей степени от жёсткости технологической системы. Если учесть, что жёсткость станка, приспособлений, инструмента и деталей регламентирована, то для снижения упругих деформаций приходится снижать режимы обработки уменьшением подачи и глубины резания, позволяющих уменьшить силы резания [6]. При этом падает производительность обработки, компенсировать которую можно повышенными скоростями вращения шпиндельных узлов.

**Цель работы** – показать преимущество шпиндельных узлов станков для высокоскоростной обработки материалов резанием, установленных на бесконтактные газоманнитные опоры.

**Задачи работы:**

1. Провести анализ факторов, влияющих на точность обработки.
2. Провести сравнительный анализ виброустойчивости шпинделей на различных подшипниках.

Известно, что шпиндельные узлы на опорах качения ограничены по быстроходности. Поэтому для высоких скоростей вращения применяют шпиндельные узлы на бесконтактных опорах. В качестве бесконтактных опор используют газовые, магнитные, а также комбинированные газоманнитные опоры. Применение гидростатических и гидродинамических бесконтактных опор ограничено из-за сложности периферийного оборудования и высокого гидравлического сопротивления в опорах, ограничивавшего их скоростной параметр.

В общей иерархии факторов, влияющих на точность обработки (см. рис. 1), в обеспечении жёсткости бесконтактная газоманнитная опора выступает как нагрузочное компенсационное звено, позволяющее управлять жёсткостью всей системы, а также демпфирующим звеном, позволяющим гасить динамические вибровозмущения, идущие от различных узлов через шпиндельный узел в деталь и, соответственно, в зону резания. Это позволяет получить и более высокое качество поверхности обрабатываемой заготовки.



Рис. 1. Факторы, влияющие на точность обработки резанием

На рис. 2 показано, как влияет применение управления жёсткостью с помощью изменения магнитных сил, воздействующих на шпиндель, установленный на бесконтактных газоманнитных опорах. На данном рисунке показаны результаты экспериментальной оценки точности вращения шпинделя с включённым и выключенным электромагнитом газоманнитной опоры. Из рисунка видно, что при вращении шпинделя с включённым магнитным подвесом уменьшается амплитуда колебаний оси шпинделя. Это позволяет повысить точность вращения по сравнению с установкой шпинделя на газостатические опоры.

Следует отметить, что увеличение магнитной составляющей несущей способности опоры, а также нагрузки на консоли шпинделя уменьшает величину эллипса траектории оси шпинделя.

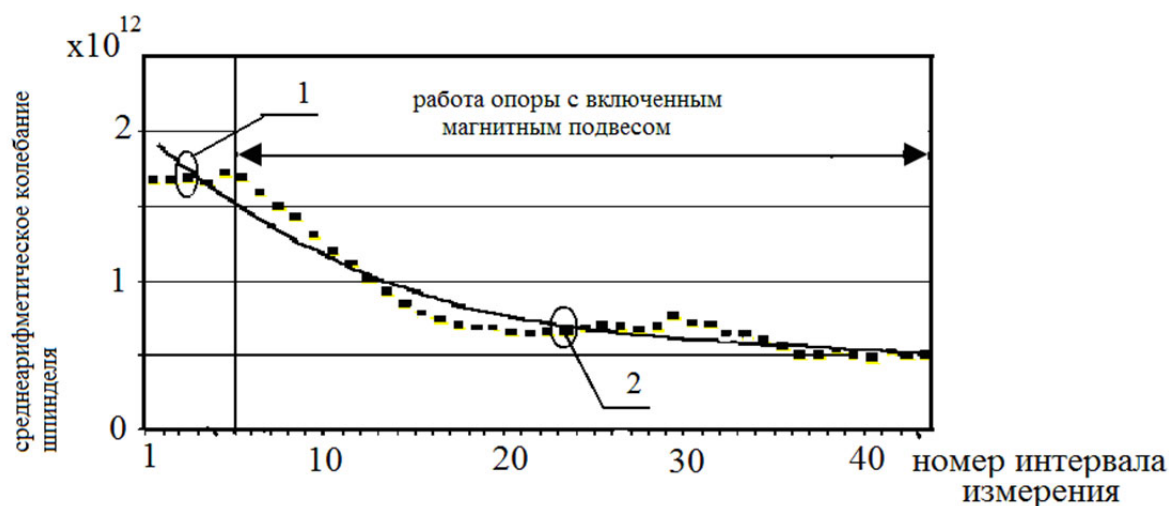


Рис. 2. Уровень вибрации корпуса шпинделя: 1 – уровень вибрации шпинделя на бесконтактных газостатических опорах; 2 – уровень вибрации шпинделя на газоманитных опорах с управлением магнитной силой ( $n = 25\,000\text{ мин}^{-1}$ )

В работах [4; 5] доказано, что применение шпиндельных узлов на газостатических опорах позволяет получить точность обработки до  $0,4\text{ мкм}$ , а на газоманитных опорах – до  $0,2\text{ мкм}$ , а также качество обработанной поверхности  $Ra = 0,03\text{ мкм}$  за счёт возможности управления жёсткостью таких опор с помощью электромагнитных сил.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Результаты контроля массы и длины сменных металлорежущих пластин для повышения эффективности технологического процесса обработки / Б. Я. Мокрицкий, Д. А. Савин, Я. В. Конюхова [и др.] // *Металлообработка*. – 2020. – № 2 (116). – С. 3-11.
2. Ким, В. А. Анализ плоскости сдвига при стружкообразовании в процессе резания / В. А. Ким, Б. Я. Мокрицкий, Ч. Ф. Якубов // *Металлообработка*. – 2019. – № 1 (109). – С. 9-14.
3. Изменение профиля поверхности деталей при различных вариациях ряда факторов токарной обработки / А. И. Пронин, В. В. Мыльников, И. И. Рожков [и др.] // *Механические свойства современных конструкционных материалов: материалы конференции*. – Москва: ИМЕТ РАН, 2018. – С. 123.
4. Космынин, А. В. Совершенствование характеристик газовых опор высокоскоростных шпиндельных узлов металлообрабатывающего оборудования: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Космынин Александр Витальевич. – Комсомольск-на-Амуре: ГОУВПО «КнАГТУ», 2004. – 350 с.
5. Щетинин, В. С. Научное обоснование создания и разработка высокоскоростных шпиндельных узлов на газоманитных опорах металлорежущих станков: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.07 / Щетинин Владимир Сергеевич. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2011. – 311 с.
6. Отряскина, Т. А. Исследование термодинамических процессов при стружкообразовании / Т. А. Отряскина, Е. Г. Кравченко // *Учёные записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике*. – 2020. – № VII-1(47). – С. 85-89.