

## К РАЗРАБОТКЕ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО РЕЗАНИЯ

А.Ж. Бексултанова

aselyab\_96@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

*Проанализировано, каким образом применение высокоскоростной обработки влияет на повышение технологичности производства. Рассмотрены высокая геометрическая точность, статическая жесткость, динамическая жесткость, температурная стабильность, обеспечение свободного схода стружки станков.*

### Ключевые слова

*Электропривод, пневмопривод, прецизионный станок, высокоскоростное резание, внутришлифовальный станок*

Поступила в редакцию 14.05.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

---

Высокоскоростная обработка (ВСО) резанием является прогрессивной и быстроразвивающейся технологией обработки металлов. Применение ВСО влияет на повышение технологичности производства, что приводит к повышению качества готовых изделий, снижению себестоимости, за счет упрощения технологического процесса, сокращения времени обработки, а также эффективного использования станков с ЧПУ. При высокоскоростной обработке станки должны иметь хорошие виброгасящие характеристики, а шпиндельный узел — высокую частоту собственных колебаний.

Одним из современных и важных направлений в машиностроении является осуществление ВСО. В последнее время интерес предприятий к данному виду обработки стремительно растет, и эта технология стала активно внедряться в практику, благодаря развитию теории резания. Основные преимущества метода ВСО заключаются в обеспечении высокого качества обработки, эффективного использования станков с ЧПУ, возможности обработки материалов, чувствительных к перегреву, а также сокращение времени резания и стоимости конечного изделия. Время производственного цикла сокращается более чем на 50 %, достигая максимальной производительности. В частности, в некоторых случаях использование ВСО является единственным возможным способом изготовления деталей.

Ранее применение данного вида обработки сдерживали проблемы, связанные с режущим инструментом, оборудованием, системами ЧПУ. В настоящее время эти сложности устранены, поэтому ВСО быстро развивается и уже довольно широко применяется.

Современные станки оснащаются шпинделями различных типов, классификация которых представлена на рис. 1. Тип применяемого привода зависит от требуемой частоты вращения шпинделя, мощности резания, конструкции станка, его целевого назначения и других параметров.

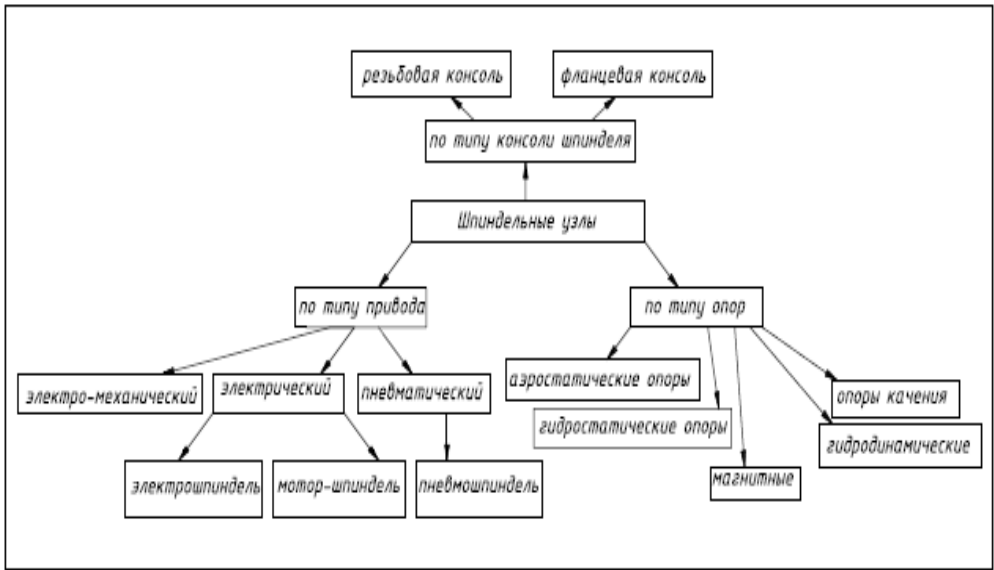


Рис. 1. Классификация шпиндельных узлов

При разработке шпиндельного узла тип опор выбирают в зависимости от требуемой частоты и точности вращения шпинделя, его жесткости и виброустойчивости, а также от эффективной мощности резания. Указанные характеристики для разных типов опор представлены в таблице.

#### Опоры шпиндельных узлов

Тип опор	Мощность холостого хода, кВт	Радиальное и осевое биение, мкм	Шероховатость обработанной поверхности $Ra$ , мкм	Некрутость обработанного образца, мкм	Скоростной параметр, $dn$ , мм/мин
Опора качения	0,7	1	0,32	1	$(0...10) \cdot 10^5$
Гидродинамическая	3,5	0,5	0,16	0,5	$(1...10) \cdot 10^5$
Гидростатическая	4,5	0,05	0,08	0,2	$(0...15) \cdot 10^5$
Аэростатическая	1,9	0,05	0,04	0,5	$(5...40) \cdot 10^5$

Поскольку подшипники качения являются стандартным узлом, то они имеют наименьшую стоимость, но их не относят к виброгасящим опорам. По этому показателю бесконтактные опоры, среди которых самыми дорогостоящими являются магнитные, предпочтительнее. Аэростатические опоры (табл.) являются самыми высокоскоростными, но обладают меньшей жесткостью по сравнению с другими, поэтому применяются для финишных операций, когда глубина срезаемого слоя мала.

Исследования и практика последних лет доказали высокую эффективность скоростного шлифования. Установлено, что увеличение скорости резания с 30...35 до 100...120 м/с позволяет значительно повысить технико-экономические показатели операций шлифования изделий из большинства конструкционных ста-

лей. Например, проведенные во Всесоюзном научно-исследовательском институте абразивов и шлифования исследования круглого наружного шлифования стали 45 (HRC 48...52) электрокорундовыми кругами на керамической связке со скоростью резания  $V = 100\text{--}120$  м/с показали, что указанные скорости при правильном ведении процесса позволяют (в зависимости от режима обработки) [1–3]:

- 1) увеличить скорость съема металла в 2–3 раза, соответственно, уменьшить основное время операции при неизменной стойкости шлифовального круга;
- 2) уменьшить радиальный износ круга в 5–15 раз и увеличить его стойкость в 4–6 раз;
- 3) снизить шероховатость  $Ra$  шлифовальной поверхности до 3 раз;
- 4) повысить точность обработки;
- 5) уменьшить в 3 раза себестоимость обработки круглого наружного шлифования.

При переходе к внутреннему шлифованию возникла необходимость разработки шпинделей с высокой частотой вращения, например для обработки отверстия диаметром 10 мм со скоростью резания 90 м/с требуется частота вращения шпинделя шлифовального круга порядка  $172\,000$  мин<sup>-1</sup>. При этом необходимо, чтобы частота собственных колебаний шпиндельного узла была на 20–30 % выше [4].

Применение воздушных опор позволяет значительно повысить частоту вращения внутришлифовального шпинделя. В настоящее время разработаны внутришлифовальные шпиндели на воздушных опорах с частотой вращения до  $300\,000$  мин<sup>-1</sup> и мощностью до 25 кВт.

В связи с освоением производства шлифовальных станков класса точности С, возникла потребность в дальнейшем совершенствовании шпинделей на аэро-статических опорах. Для обеспечения больших частот вращения шпинделя применяют встроенные электрический и пневматический приводы.

На рис. 2 представлен пневмошпиндель прецизионного внутришлифовального станка [5]. Вал 1 приводится во вращение турбиной, работающей на сжатом воздухе под давлением 0,4...0,6 МПа. Воздух из центрального канала вала через радиальные каналы поступает в кольцевую канавку 5 и по радиальным каналам 11 — к соплам 12. Для питания пневмошпинделя воздух подается через штуцер 6 к радиальным опорам 2 и 10, далее через отверстия 3 — к подпятнику 4, который представляет собой пористое тело. Осевой зазор вала между подпятником и втулкой 9 при отключенной подаче воздуха составляет 20...25 мкм. Воздух, охлаждающий переднюю опору и подпятник, проходит через пазы 16 в передней крышке и каналы 15 в корпусе 14 и щитах. Пневмошпиндель должен быть снабжен эффективными глушителями шума 7, 8 и 13.

Воздух для питания турбины и опор очищается от пыли, масла, влаги в специальном устройстве с регулятором бесступенчатого изменения частоты вращения (до 2 раз). Пневмошпиндель должен иметь систему автоматического регулирования, которая обеспечивает высокую жесткость его механической характеристики: падение частоты вращения под нагрузкой не должно превышать 10 %.

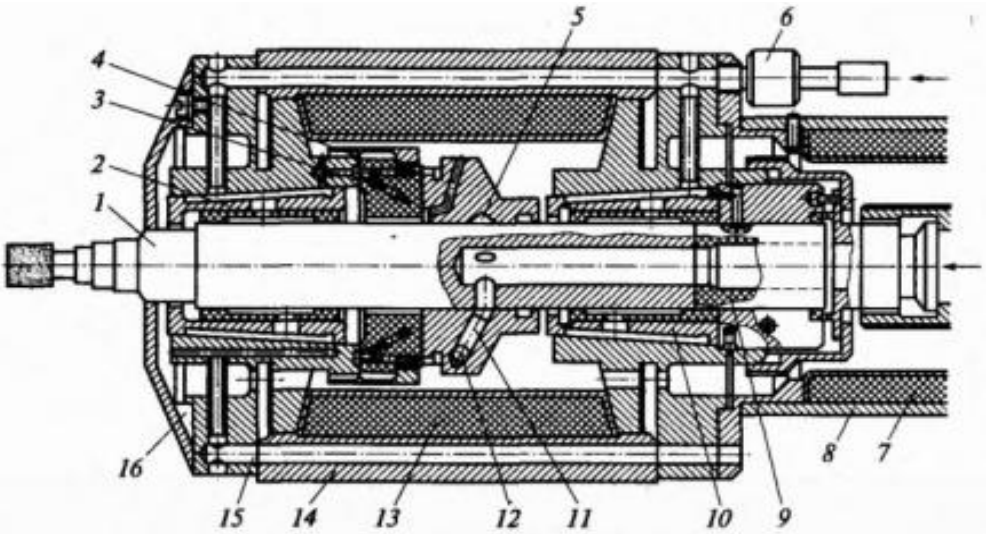


Рис. 2. Пневмошпиндель прецизионного внутришлифовального станка:

1 — вал; 2, 10 — радиальные опоры; 3 — подводящее отверстие; 4 — подпятник; 5 — кольцевая канавка; 6 — штуцер; 7, 8, 13 — глушители шума; 9 — втулка; 11 — радиальный канал; 12 — сопло; 14 — паз; 15 — канал; 16 — паз для охлаждения

Пневмошпиндель является одним из наиболее компактных, безопасных в использовании и удобных в обслуживании. Надежное охлаждение опор воздухом, продуваемым через турбины, температура которого понижается на выходе из нее является одним из преимуществ данного шпинделя. К отрицательным свойствам относят малые мощность и КПД шпинделя, зависимость частоты вращения от величины приложенной нагрузки, необходимость просушки воздуха, а также высокий уровень шума, что приводит к необходимости разработки и применения эффективных систем шумоподавления.

Аэростатические опоры обеспечивают следующие преимущества:

- достижение высокой быстроходности и точности вращения шпинделя вследствие усредняющего действия воздушной пленки при отсутствии вибраций и крайне низком трении в опорах;
- возможность балансировки шлифовального круга непосредственно на станке и увеличение эффективной мощности на круге;
- устранение нагрева опор и самого шпинделя, что исключает их тепловую деформацию и позволяет выполнять прецизионную обработку непосредственно после запуска станка;
- большой срок службы шпинделя с сохранением исходной точности.

К недостаткам таких опор относят:

- низкую жесткость по сравнению с другими типами шпиндельных опор;
- потребность в обеспечении устройством шумоподавления;
- необходимость обеспечения сухим и чистым воздухом.

Следует помнить, что при неправильной эксплуатации шпинделя возможен непосредственный контакт опорных поверхностей вала и самих опор, что приводит к выходу из строя последних и самого шпинделя.

Таким образом, при разработке шпиндельных узлов для высокоскоростного резания необходимо рассчитать частоту собственных колебаний шпинделя и в соответствии с предложенными рекомендациями выбрать тип опор. Провести расчет на жесткость разработанного шпиндельного узла для заданных сил резания.

## Литература

- [1] Муцянюк В.И., Степаненко В.Г., Филимонов Л.Г., Окунев Б.А. Влияние скоростного шлифования на качество поверхности. *Станки и инструмент*, 1979, № 2.
- [2] Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. *Резание металлов и режущие инструменты*. Москва, Инфра-М, 2011. 416 с.
- [3] Сулов А.Г. *Технология машиностроения*. Москва, Машиностроение, 2007. 430 с.
- [4] Вереина Л.И. Внедрение высокоскоростного резания на эксплуатируемом станке. *Ремонт. Восстановление. Модернизация*, 2017, № 1, с. 40–43.
- [5] Черпаков Б.И., Вереина Л.И. *Технологическое оборудование машиностроительного производства*. Москва, Изд. центр «Академия», 2005. 416 с.

**Бексултанова Асель Жуматаевна** — студентка кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**Научный руководитель** — Л.И. Вереина, канд. техн. наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

---

**ON DEVELOPING SPINDLE UNITS FOR HIGH-SPEED MACHINING****A.Zh. Beksultanova**

aselyab\_96@mail.ru

**Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

---

**Abstract**

We analysed the way that employing high-speed machining affects the increase in manufacturability. We consider special properties of machine tools: high geometric precision, static and dynamic rigidities, thermal stability, ensuring uninhibited chip flow.

**Keywords**

Electric drive, pneumatic drive, precision machine tool, high-speed machining, internal grinding machine

© Bauman Moscow State Technical University, 2017

---

**References**

- [1] Mutsyanko V.I., Stepanenko V.G., Filimonov L.G. Okunev B.A. High-speed finishing impact on surface quality. *Stanki i instrument*, 1979, no. 2.
- [2] Solonenko V.G., Ryzhkin A.A. Rezanie metallov i rezhushchie instrument [Metall cutting and cutting tools]. Moscow, Infra-M publ., 2011. 416 p.
- [3] Suslov A.G. Tekhnologiya mashinostroeniya [Mechanical engineering technology]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2007. 430 p.
- [4] Vereina L.I. Implementation of high-speed cutting on operating machine-tool. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya* [Repair, Reconditioning, Modernization], 2017, no. 1, pp. 40–43.
- [5] Cherpakov B.I., Vereina L.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie mashinostroitelnogo proizvodstva [Technological equipment of machinery production]. Moscow, Publ. center “Akademiya”, 2005. 416 p.

**Beksultanova A.Zh.** — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

**Scientific advisor** — L.I. Vereina, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.