

УДК 621.9

## ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНСОЛЬНОГО РАСТАЧИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

М.Ю. КУЛИКОВ<sup>1</sup>, М.А. ЛАРИОНОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУВПО Московский государственный университет путей сообщения, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБОУВПО Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

E-mail: muk.56@mail.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** Одними из основных показателей качества обработанных растачиванием отверстий корпусов электрических машин является круглость. При глубоком консольном растачивании возникающие нагрузки приводят к упругой деформации шпинделя расточного станка, что значительно ухудшает точность получаемого отверстия. В связи с этим необходима разработка новой конструкции устройства для повышения качества обработки отверстий.

**Материалы и методы:** При исследовании применялся метод конечных элементов и эмпирические данные полученные в ходе производственных испытаний.

**Результаты:** Результаты компьютерного моделирования показали, что жесткость шпинделя падает по мере увеличения вылета. А результаты производственных испытаний предложенного способа доказывают эффективность его использования при растачивании глубоких отверстий.

**Выводы:** Предложенный способ в значительной мере повышает жесткость шпинделя при консольном растачивании глубоких отверстий, а это в свою очередь увеличивает точность формы и взаимного расположения обрабатываемых отверстий деталей энергетического машиностроения.

**Ключевые слова:** глубокое отверстие, консольное растачивание, жесткость, шпиндельный узел, деформация.

## IMPROVING ACCURACY OF DEEP APERTURES CONSOLE BORING IN DETAILS FOR POWER ENGINEERING MACHINE BUILDING

M.Yu. KULIKOV<sup>1</sup>, M.A. LARIONOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Transport Means, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

E-mail: muk.56@mail.ru

### Abstract

**Background:** Circular accuracy is one of the main quality characteristics treated by boring the body apertures in electrical machines. While deep console boring the appearing loads can lead to resilient deformation of spindle of boring machine. It substantially deteriorates the accuracy of the apertur. As a result, it is necessary to develop the new construction of device to increase the quality of apertures treatment.

**Material and methods:** The authors used the method of the finite elements and the empirical data obtained during production testing in this research work.

**Results:** The results of the computer simulation showed that the spindle stiffness decreases with increasing its length. The production testing results proved the effectiveness of the proposed method of its use in boring deep apertures.

**Conclusions:** The proposed method greatly improves the rigidity of the spindle when the console boring deep apertures, and this in turn increases the precision of form and arrangement processed apertures of power engineering machine building.

**Key words:** deep aperture, console boring, rigidity, spindle unit, deformation.

Производство электрических машин характеризуется значительным повышением механизации и автоматизации технологических процессов. Освоенные промышленностью новые серии электрических машин и трансформаторов производятся на специализированных предприятиях с широким использованием автоматических установок и линий. Освоен ряд новых материалов, позволивших механизировать технологические процессы.

В настоящее время перед технологами стоят задачи не только улучшения технологии и технологического оборудования в целях повышения производительности труда, но и создания новых технологических процессов и технологического оборудования, позволяющих совершенствовать конструкции электрических машин. Тесное сотрудничество конструкторов и технологов при разработке новых изделий и подготовке их производства является совершенно необходимым условием как для по-

вышения эффективности производства, так и для получения наиболее экономичных изделий.

Энергетическое машиностроение характеризуется значительным повышением требований к точности производимых изделий и их составляющих. Одной из сложных и трудоемких технологических задач энергетического машиностроения является расстачивание глубоких высокоточных отверстий. Сам термин «глубокое отверстие» имеет различное толкование и определяется в основном по отношению длины к диаметру обрабатываемого отверстия, причем это отношение колеблется от 3 до 10 и выше.

К таким деталям относятся корпуса турбо- и гидрогенераторов, подлежащих механической обработке и имеющих большие габариты, поэтому их обработку производят на специальных станках. Для получения необходимой точности и качества обработки металлообрабатывающие станки оснащаются сложной оснасткой и специальным инструментом.

Наиболее распространенным способом получения глубоких отверстий большого диаметра является метод консольного расстачивания. При глубоком консольном расстачивании возникающие нагрузки приводят к упругой деформации шпинделя расточного станка, что значительно ухудшает точность получаемого отверстия, а именно, приводит к смещению оси и погрешностям формы.

Ниже предложено разработанное специальное устройство для расстачивания отверстий. С использованием метода конечных элементов на компьютерной модели шпиндельного узла расточного станка нами были изучены закономерности появления упругой деформации шпинделя по мере увеличения вылета, а также влияние ее на точность получаемого отверстия. Для моделирования и расчета шпиндельного узла мы использовали пакет программ Solid Works. Компьютерная модель шпинделя разбивалась на 11800 конечных элементов пирамидальной формы (рис. 1).

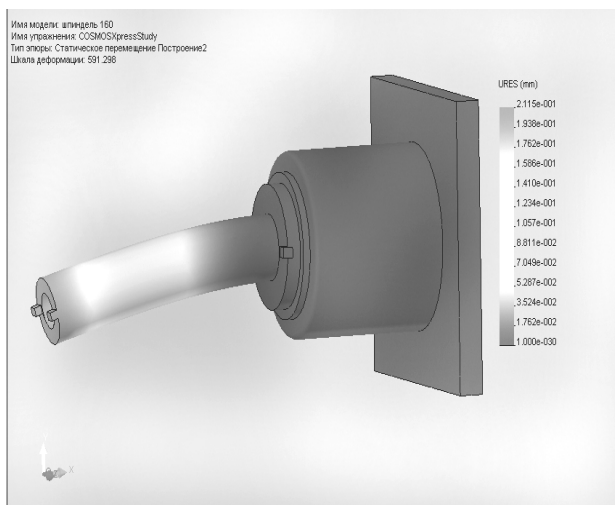


Рис.1. Визуализация компьютерного расчета шпиндельного узла

После разбивки производился расчет, который свидетельствует о том, что при обработке отверстия диаметром более 350 мм и вылете шпинделя до 1000 мм происходит смещение оси получаемого отверстия на 31–32 мкм, что обеспечивает отклонения от округлости до 18–20 мкм (рис. 2).

Для уменьшения упругих деформаций шпиндельного узла применяются различные способы, в частности: создание адаптивных систем, которые во время обработки отслеживают увод оси обрабатываемого отверстия и корректируют программу обработки [1, 2], а также применение инструмента с плавающими режущими пластинами, специальных расточных головок со смещенными резцами [3].

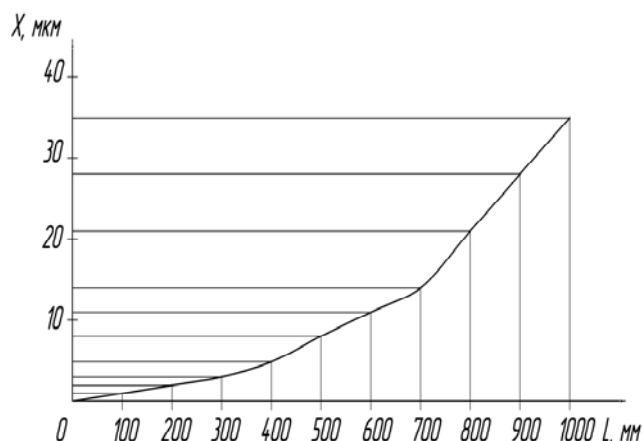


Рис. 2. Смещение режущей кромки инструмента по мере вылета шпинделя

Однако названные способы очень трудоемки и не универсальны. Кроме того, эффективность этих способов значительно падает по мере увеличения вылета шпинделя.

Точность механической обработки во многом определяется жесткостью как всей механообрабатывающей технологической системы, так и отдельных ее элементов [4]. Проблема обеспечения точности получаемых глубоких отверстий методом консольного расстачивания решается за счет изменения жесткости расточного шпинделя, в котором закреплен режущий инструмент, по мере увеличения его вылета, что приводит к увеличению вибрации инструмента и, как следствие, к падению точности получаемого отверстия.

Поэтому для увеличения жесткости шпиндельного узла и решения данной проблемы нами было разработано специальное устройство для расстачивания отверстий, которое, по сути, представляет собой промежуточную опору (рис. 3).

На расточной шпиндель станка монтируется сборная втулка, которая выполняет несколько функций. Во-первых, увеличивает поперечное сечение шпинделя, что придает ему дополнительную жесткость. Во-вторых, втулка является сборной конструкцией, а, как известно, любое разъемное соединение имеет степень податли-

ности, это, в свою очередь, вызывает явление «сухого трения».

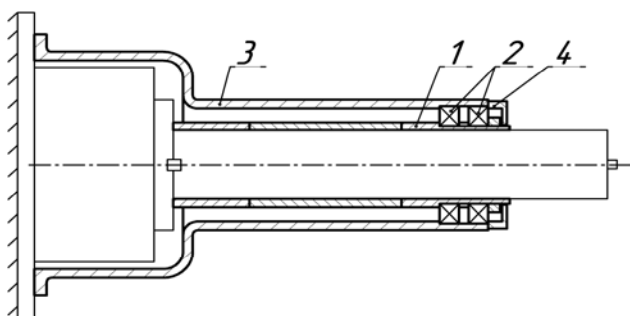


Рис. 3. Принципиальная схема устройства для растачивания отверстий: 1 – сборная втулка; 2 – подшипники; 3 – корпус; 4 – крышка

По природе своей данное явление есть демпфер, этому эффекту посвящено много исследований, в частности труды американского ученого Вувета. В-третьих, втулка вращается синхронно с расточным шпинделем станка, что позволяет не портить гладкую, точную поверхность шпинделя.

Корпус устройства также придает жесткость шпиндельному узлу станка, несмотря на его консольное закрепление на лобовой плите шпиндельной бабки, за счет своей массы и размеров. Корпус изготавливается из серого чугуна марки СЧ 25, который обладает демпфирующими свойствами.

Сборная втулка опирается на корпус устройства через два предварительно натянутых роликовых радиально-упорных подшипника фирмы SKF, так как они имеют малое радиальное биение и незначительно греются при работе.

Смазка и охлаждение подшипникового узла осуществляется за счет газо-масляной эмульсии, которая подается в корпус устройства через верхний ниппель. Это было сделано именно так, потому что газо-масляная эмульсия обладает свойством повышенного теплоотвода, что немало важно при работе предварительно натянутых подшипников.

Исследования упругих деформаций шпиндельного узла проводились при обработке корпуса в статическом нагружении выдвинутой части шпинделя. Принципиальная схема эксперимента представлена на рис. 4.

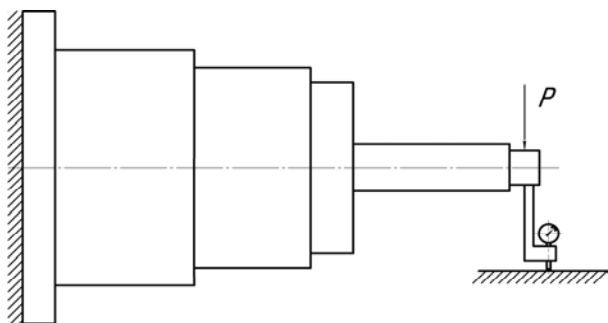


Рис. 4. Принципиальная схема эксперимента

Контроль смещения оси шпинделя был произведен по контрольной измерительной раме с использованием микрометра часового типа. Измерения величины деформации выдвинутой части шпинделя осуществлялись каждые 100 мм изменения вылета. Контроль за выдвиганием шпинделя производился с помощью системы ЧПУ Siemens SINUMERIK 840D с измерительной системой Heidenhain и дополнительной лазерной линейки BOSCH GLM 250 VF. Полученные данные представлены на рис. 5 и в таблице.

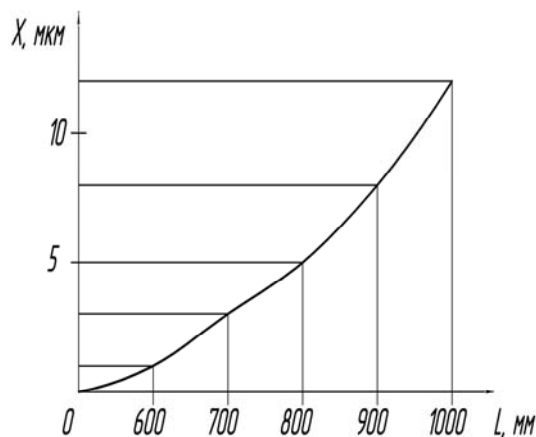


Рис. 5. Зависимость смещения режущей кромки инструмента от вылета шпинделя с использованием устройства

#### Результаты измерения смещения режущей кромки инструмента

Длина вылета шпинделя L, мм	700	800	900	1000
Смещение режущей кромки инструмента X, мкм	1	3	8	12

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увод оси обрабатываемого отверстия при использовании специальной поддержки шпинделя уменьшился до 10–12 мкм, это обеспечивает отклонения от допуска формы круглости до 8–9 мкм, что значительно меньше, чем без использования специальной оснастки.

Механическая обработка (расточивание) корпуса при использовании специальной поддержки шпинделя показала, что увод оси обрабатываемого отверстия находился в заданных пределах и обеспечивалась заданная форма круглости.

#### Список литературы

1. **Коррекция** положения оси глубокого отверстия при растачивании / М.Б. Диперштейн, Л.Л. Фрезинский, А.А. Ткаченко, Р.Н. Кулагин // Вестник машиностроения. – 1984. – № 3. – С. 56–59.
2. **Кулагин Р.Н.** Структурно-алгоритмическая модель системы управления положения расточной головки / Автоматизация технологических процессов в машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. ВолгГТУ. – Волгоград, 2007.

3. **Корсаков В.С.** Точность механической обработки. – М.: Машгиз, 1961.

4. **Подураев В.Н.** Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. – М.: Машиностроение, 1977.

#### References

1. Dipershteyn, M.B., Frezinskiy, L.L, Tkachenko, A.A., Kulagin, R.N. *Vestnik mashinostroeniya*, 1984, no. 3, pp.56–59.

2. Kulagin, R.N. Strukturno-algoritmicheskaya model' sistemy upravleniya polozheniya rastochnoy golovki [Structural and

Algorithmic Model of Control System of Boring Head Position], in *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v mashinostroenii: mezhvuz. sb. nauch. tr. VolgGTU* [Automation of Technological Processes in Machine Building: The interuniversity collection of proceedings VolgGTU], Volgograd, 2007.

3. Korsakov, V.S. *Tochnost' mekhanicheskoy obrabotki* [Accuracy of Mechanical Machining], Moscow: Mashgiz, 1961.

4. Poduraev, V.N. *Avtomaticheski reguliruemye i kombinirovannye protsessy rezaniya* [Automatically Adjustable and Combined Cutting Processes], Moscow: Mashinostroenie, 1977.

*Куликов Михаил Юрьевич,*

Московский государственный университет путей и сообщения,

доктор технических наук, профессор кафедры технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава,

e-mail: muk.56@mail.ru

*Ларионов Максим Александрович,*

Российский университет дружбы народов,

аспирант кафедры технологии машиностроения, металлорежущих станков и инструмента,

e-mail: pioneer\_maxim@mail.ru