

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТОЧЕНИЯ ЗАКАЛЕННОЙ СТАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И СТАНКИ ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Я.В. Александров

yarikalexandrow@mail.ru
SPIN-код: 6671-0639

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

Аннотация

Обосновано использование технологии точения закаленной стальной поверхности вместо шлифования при высокоточной обработке заготовок. Описаны основные требования, предъявляемые к станкам для точения закаленной стальной поверхности. Проведено сравнение показателей точности обработки и скоростных параметров при использовании шпиндельных узлов на различных типах опор, используемых для точения закаленной стальной поверхности. Обоснован выбор гидростатических опор. Сформулированы требования к направляющим станка, предложен вариант реализации конструкции с гидростатическими направляющими. Проанализированы результаты испытаний на виброустойчивость гидростатических и шариковых направляющих методом импульсного возмущения, сделан выбор станины станка для точения закаленной стальной поверхности на основании предъявляемых требований.

Ключевые слова

Точение закаленной стальной поверхности, шпиндельный узел на гидростатических опорах, прецизионный станок, показатели опор скольжения, гидростатические направляющие, демпфирование колебаний

Поступила в редакцию 23.11.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Резание закаленной стальной поверхности представляет собой обработку материалов твердостью выше HRC 47. Наибольшее распространение среди всех видов такой обработки получило точение. Раньше основным технологическим решением было шлифование. Целесообразность замены шлифования точением объясняется различными факторами. Точение на 30...50 % экономичнее шлифования: объем снимаемого материала в 2–3 раза ниже, при этом стоимость токарного станка повышенной точности в 3–5 раз ниже стоимости аналогичного шлифовального, нет необходимости в применении смазочно-охлаждающих жидкостей, время обработки при точении в несколько раз меньше, чем при шлифовании. Кроме того, при точении возможно изготовление сложнопрофильных деталей одним резцом, в то время как на шлифовальном станке такая обработка требует замены кругов и переналадки станка либо трудоемкой правки шлифовальных кругов.

Принцип точения закаленной стальной поверхности заключается в том, что в зоне среза из-за специально подобранной геометрии инструмента и режимов

резания обрабатываемый материал нагревается и пластифицируется [1]. В результате получается не элементная и не сливная стружка: она как бы течет. Если твердость материала составляет HRC 62, то в зоне среза пластифицированный материал имеет твердость HRC 25, а полученная стружка — HRC 45. Твердость готовой детали после обработки уменьшается всего на одну-две единицы. Поскольку силы резания велики, такую обработку применяют в качестве финишной операции с глубиной резания 0,15...0,30 мм. Учитывая сложные условия работы, в качестве инструмента выбирают режущие пластины из керамики и CBN (кубического нитрида бора). Керамику можно использовать при твердости HRC 50–60. Она является более дешевым инструментальным материалом по сравнению с CBN, однако не может воспринимать ударные нагрузки, поэтому ограниченно пригодна для прерывистого резания.

Особые требования к металлорежущему оборудованию, на котором будет проводиться обработка, связаны с получением деталей высокой точности. Именно поэтому важным обстоятельством является выбор опор для шпиндельного узла, которые непосредственно влияют на точность обработанной поверхности. Исходя из основных показателей обработки, представленных в таблице, можно сделать вывод о том, что использование опор качения при высокоточной обработке недопустимо [2].

Основные показатели различных опор качения и скольжения шпиндельных узлов

Тип опор	Мощность холостого хода, кВт	Радиальное и осевое биение, мкм	Шероховатость обработанной поверхности Ra , мкм	Некруглость обработанного образца, мкм	Скоростной параметр dn , мм/мин
Гидродинамические	3,5	0,5	0,16	0,5	$(1...10) \cdot 10^5$
Гидростатические	4,5	0,05	0,08	0,2	$(0...15) \cdot 10^5$
Качения	0,7	1,0	0,32	1,0	$(0...10) \cdot 10^5$

Выбирая между гидростатическими и гидродинамическими опорами, необходимо учесть следующие обстоятельства.

Минимальный зазор между подшипником и цапфой h_{\min} и эксцентриситет e изменяются при изменении частоты вращения шпинделя и сил резания, что приведет к снижению точности обработки и является неприемлемым для финишной операции [3]. При использовании гидродинамических опор реверсивное вращение шпинделя невозможно, поскольку оно приведет к изменению положения цапфы и соответственно к снижению точности. Схема работы гидродинамического подшипника представлена на рис. 1.

Схема работы гидростатических опор, которые лишены данных недостатков, показана на рис. 2. Зазор всегда остается постоянным, даже при изменении положения вала система ЧПУ учитывает это (давление в одном из контуров подачи масла возрастает) и нормализует его положение, изменяя давление в карманах. Таким образом, точность обработки не снижается.

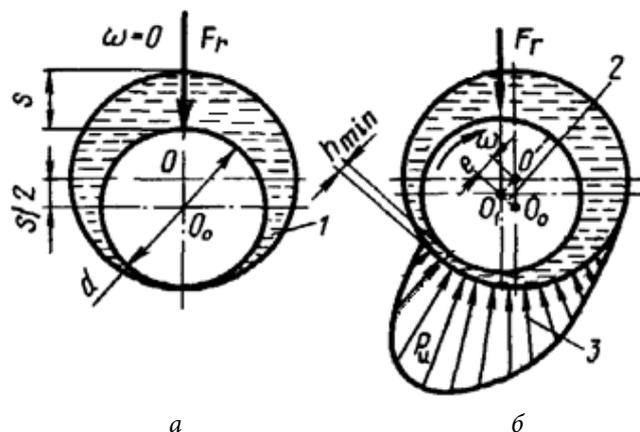


Рис. 1. Гидродинамический подшипник скольжения:

a — вал находится в состоянии покоя; *б* — вал вращается с угловой скоростью ω ; 1 — масло; 2 — цапфа; 3 — эпюра давления; *e* — эксцентриситет; F_r — сила, приложенная к цапфе; *O* — ось симметрии подшипника; O_0 — ось симметрии цапфы в состоянии покоя; O_1 — ось симметрии цапфы при вращении с угловой скоростью ω ; P_u — гидродинамическая подъемная сила

Станок для точения закаленной стальной поверхности должен иметь повышенную жесткость, виброустойчивость, высокий скоростной параметр и точность обработки. Требуемым характеристикам полностью удовлетворяют станки, имеющие шпиндельные узлы с гидростатическими опорами, а также гидростатические направляющие.

Одной из особенностей точения закаленной стальной поверхности является то, что обработка ведется на высоких скоростях. При повышении скорости резания и постоянстве остальных условий интенсивность вибраций и волнистость обрабатываемой поверхности вначале возрастают и достигают максимума при некоторой критической скорости резания. При дальнейшем увеличении скорости резания вибрации уменьшаются. Ослабление вибраций на высоких скоростях резания — весьма существенное обстоятельство, оно является основанием, на котором базируется скоростное резание. В таблице видно, что с помощью гидростатических опор можно получить более высокую скорость резания.

Помимо этого шпиндельные узлы с гидростатическими опорами отличаются высокой жесткостью и точностью вращения, отсутствием износа, способностью работать с высокими нагрузками, хорошей демпфирующей способностью, отсутствием металлического контакта при пуске шпинделя. Данные характеристики шпиндельных узлов с гидростатическими опорами обусловили их приме-

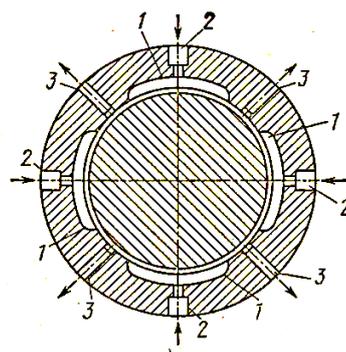


Рис. 2. Схема гидростатической опоры:

1 — карманы; 2 — дроссели;
3 — выходные отверстия

нение в тяжелых высокоточных токарных станках для точения закаленной стальной поверхности, особенно для изготовления высокоточных крупных деталей [4].

Учитывая тот факт, что наибольшее влияние на процесс точения закаленной стальной поверхности оказывает статическая и динамическая жесткость станка, можно прийти к выводу о необходимости использования специальных направляющих для станков. Как известно, они выполняют несколько основных функций: обеспечение прямолинейности движения исполнительного органа, компенсацию динамических нагрузок, возникающих при резании, и демпфирование возникающих вибраций в зоне резания. Компенсация сил и вибраций наиболее важна для точения закаленной стальной поверхности, поскольку определяет шероховатость обработанной поверхности и период стойкости инструмента. Применение гидростатических направляющих позволяет устранить эту проблему [5, 6]. Направляющие данного типа обеспечивает хорошую способность к демпфированию, поскольку подшипники и направляющие разделены слоем масла.

Время затухания и амплитуда вибраций гидростатических направляющих значительно меньше шариковых направляющих (рис. 3) [7, 8].



Рис. 3. Испытание на виброустойчивость гидростатических и шариковых направляющих методом импульсного возмущения

Немецкая фирма Nembrug использует в своем оборудовании гидростатические опоры шпинделя и гидростатические направляющие, фундамент из натурального гранита, на который опирается стальная станина, залитая полимерным бетоном. Между гранитным основанием и станиной станка имеются демпферы, которые амортизируют все вибрации с амплитудой выше 7 Гц. Фундамент из натурального гранита не имеет внутренних напряжений, обладает превосходными свойствами демпфирования и низким коэффициентом теплового расширения, а следовательно, высокой термической устойчивостью. Все эти свойства делают натуральный гранит идеальным материалом для создания станков для вы-

сокоточного точения закаленной стальной поверхности. Совокупность применяемых конструкторских решений позволяет изготавливать станки, способные обрабатывать заготовки из твердых материалов с высокой точностью [9, 10].

Выводы. Точение закаленной стальной поверхности позволяет значительно сократить время обработки, что является важным фактором, повышающим производительность при изготовлении точных крупногабаритных деталей. Предложенная схема активной демпфирующей системы с применением гидростатических шпиндельных опор и гидростатических направляющих позволит устранить возникновение автоколебаний в многошпиндельных станках для точения закаленной стальной поверхности, повысить производственную прибыль и конкурентоспособность предприятий, использующих точение на данном оборудовании.

Литература

- [1] Черпаков Б.И., Вереина Л.И. *Технологическое оборудование машиностроительного производства*. Москва, Издательский центр «Академия», 2015, 448 с.
- [2] Вереина Л.И. Современное состояние отечественного станкостроения и его восстановление. *Технология металлов*, 2016, № 10, с. 43–48.
- [3] Вереина Л.И. *Металлообрабатывающие станки*. Москва, ИНФРА-М, 2016, 440 с.
- [4] Попов В.И., Локтев В.И. *Динамика станков*. Киев, Техника, 1975, 134 с.
- [5] Пуш В.Э. *Металлорежущие станки*. Москва, Машиностроение, 1985, 575 с.
- [6] Пуш В.Э. *Расчет и проектирование гидростатических опор*. Москва, Мосстанкин, 1978, 48 с.
- [7] Трофимов В.В., Несмеянов Е.А. Регулирование амплитуды колебаний инструмента при обработке на многошпиндельных станках для твердого точения. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2011, № 3, с. 61–65.
- [8] Трофимов Ю.В., Несмеянов Е.А. Повышение виброустойчивости оборудования при комплексной обработке. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2010, № 7, с. 23–26.
- [9] Ультрапрецизионные токарные станки Hembrug.
URL: <http://www.hembrug.com/machine-construction> (дата обращения 09.10.2017).
- [10] Токарные станки Monforts.
URL: <http://www.monfortswzm.de/ru/produkte/hydrostatik.html>
(дата обращения 09.10.2017).

Александров Ярослав Владимирович — студент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Вереина Людмила Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлорежущие станки», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TURNING THE CHILLED STEEL FACE AND MACHINE TOOLS USED FOR THIS PURPOSE

Ya.V. Aleksandrov

yarikalexandrov@mail.ru

SPIN-code: 6671-0639

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article justifies the use of turning the chilled steel face technique versus grinding while high-accuracy machining of the steel blanks. The major requirements applicable to the machine tools used for turning the chilled steel face are described. We have compared the processing accuracy figures and velocity parameters when using the spindle mounts on various types of bearings applied for turning the chilled steel face. The choice of hydrostatic bearings is justified. We have formulated the demands for the machine slideways and suggested an implementation variation of the construction with hydrostatic guideways. The article analyzes the results of the hydrostatic and ball guideways vibration tests by means of the pulse disturbance technique, the machine stand having been chosen for turning the chilled steel face by virtue of the specified requirements.

Keywords

Turning the chilled steel face, spindle mount on hydrostatic bearings, precision machine tool, sliding supports figures, hydrostatic guideways, vibration damping

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Cherpakov B.I., Vereina L.I. Tekhnologicheskoe oborudovanie mashinostroitel'nogo proizvodstva [Process equipment engineering production]. Moscow, Izdat. tsentr Akademiya Publ., 2015. 448 p.
- [2] Vereina L.I. Current state of Russian machine-tool industry and restoration of this field. *Tekhnologiya metallov*, 2016, no. 10, pp. 43–48 (in Russ.).
- [3] Vereina L.I. Metalloobrabatyvayushchie stanki [Metal working machines]. Moscow, INFRA-M Publ., 2016. 440 p.
- [4] Popov V.I., Loktev V.I. Dinamika stankov [Dynamics of machine tools]. Kiev, Tekhnika Publ., 1975. 134 p.
- [5] Push V.E. Metallorezhushchie stanki [Metal-cutting machine tools]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1985. 575 p.
- [6] Push V.E. Raschet i proektirovanie gidrostaticheskikh opor. Moscow, Mosstankin Publ., 1978. 48 p.
- [7] Trofimov V.V., Nesmeyanov E.A. Regulation of amplitude of fluctuations of the tool at processing on multispindle machine tools for hard turning. *Vestnik Voronezhskogo Gos. Tekh. Univ.* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2011, no. 3, pp. 61–65 (in Russ.).
- [8] Trofimov Yu.V., Nesmeyanov E.A. Increase vibration stability of the equipment at complex processing. *Vestnik Voronezhskogo Gos. Tekh. Univ.* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2010, no. 7, pp. 23–26 (in Russ.).

[9] Ul'trapretsionnyye tokarnye stanki Hembrug.

Available at: <http://www.hembrug.com/machine-construction> (accessed 09 October 2017).

[10] Tokarnye stanki Monforts.

Available at: <http://www.monfortswzm.de/ru/produkte/hydrostatik.html> (accessed 09 October 2017).

Aleksandrov Ya.V. — student, Department of Machine Tools, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

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