

УДК 621.9.08

## **Система контроля размеров деталей на станках токарной группы при помощи лазерного микрометра**

*Сырицкий А.Б., ассистент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Поляков Д.А., студент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Метрология и взаимозаменяемость»*

*Научный руководитель: Комшин А.С., к.т.н, доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

[komshin@bmstu.ru](mailto:komshin@bmstu.ru)

Одним из основных требований к деталям машиностроения является необходимость высокой точности их геометрических размеров, обеспечивающей надёжность и долговечность работы механизмов и машин. Высокая точность геометрических размеров деталей определяет возможность их взаимозаменяемости, позволяющей существенно снизить затраты при сборке, ремонте и эксплуатации механизмов и машин. Один из способов решения этой задачи – контроль обрабатываемой детали и режущего инструмента непосредственно в процессе обработки или сразу после него и управление станком по результатам этого контроля («активный контроль»).[1]

Системы активного контроля широко применяются на станках токарной группы, оборудованными системой числового программного управления (ЧПУ). Минимальная стоимость единицы данного оборудования составляет 3,5 млн. р.

Однако, на данный момент на предприятиях продолжают использоваться токарные станки, не оборудованные системой ЧПУ. Контроль произведённых на них деталей происходит с помощью простейших измерительных приборов типа микрометр, штангенциркуль и т.п. При установке на данные токарные станки системы оперативного контроля с лазерным микрометром возможно существенно повысить точность измерений, затратив материальных средств в разы меньше, чем стоимость станков с ЧПУ.

Измерения с помощью системы оперативного контроля с лазерным микрометром проводятся бесконтактным способом, что позволяет избежать динамических погрешностей, возникающих при существующих контактных способах измерений.

Было проведено патентное исследование, в результате которого было выявлено, что аналогов предлагаемому способу контроля на токарных станках без ЧПУ не существует. Аналогом же все системы является система активного контроля на токарных станках с ЧПУ. Аналогом системы на станках не токарного типа является «Устройство управления зубошлифовальным станком» (патент RU 137404 U1) [2].

Оптические микрометры предназначены для бесконтактного измерения и контроля положения, размеров (диаметр, толщина, ширина, зазоры) технологических объектов; измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов.

В основу работы прибора положен теневой метод, представленный на рисунке 1. Микрометр состоит из двух модулей: излучателя 1 и приемника 2. Излучение полупроводникового лазера 3 коллимируется объективом 4. При размещении объекта 5 в области коллимированного пучка формируемое теневое изображение сканируется линейкой ПЗС-фотоприемников 6. По положению теневой границы (границ) процессор 7 рассчитывает положение (размер) объекта. Измерение формы детали и внешний вид микрометра представлены на рисунке 2.

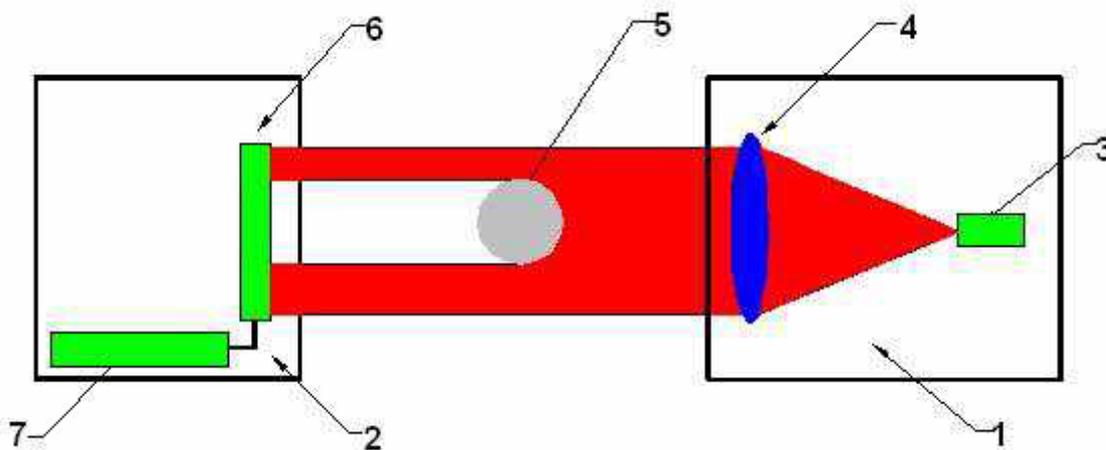
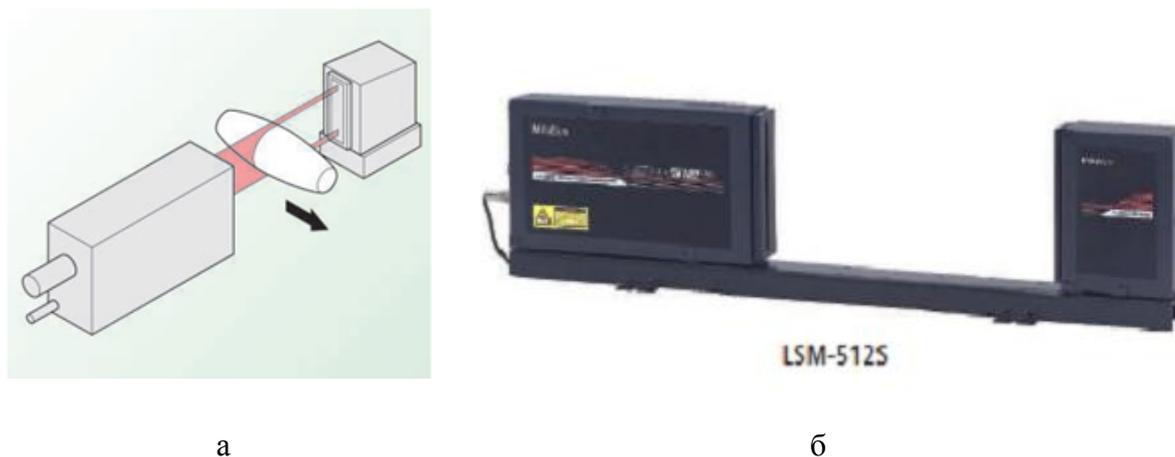


Рис. 1. Принципиальная схема лазерного микрометра



а

б

Рис. 2. Лазерный микрометр LSM-5125:

а - измерение формы детали; б - внешний вид микрометра

Показания с прибора поступают на блок индикации. Возможно подключение к ЭВМ и оперативный экспорт данных с помощью ножной педали.

### Конструктивная схема

При проектировании контрольного приспособления были учтены следующие факторы:

- масса прибора до 7 кг, т. е. необходимость обеспечить надёжное крепление приспособления в суппорте;
- необходимость обеспечить зазор для поворота верхнего суппорта;
- необходимость обеспечения перпендикулярности плоскости измерения к оси вращения детали.

С учётом данных условий выбраны следующие конструктивные решения:

В качестве опоры для прибора была спроектирована рама-подставка.

Крепление к суппорту осуществляют болтами в суппорте, завинченными в отверстия в раме.

Поскольку концы болтов на бывших в эксплуатации станках деформированы, необходимо в комплект приспособления внести аналогичные новые болты М14.

Для обеспечения свободного поворота верхнего суппорта расстояние  $l$  от его оси до вертикальной грани рамы определяется по формуле 1.

$$l = \frac{a\sqrt{2}}{2} + 5, \quad (1)$$

где  $a$  – длина стороны верхнего суппорта, мм

5 – зазор, мм

Для обеспечения перпендикулярности плоскости измерения к оси вращения детали используют набор прокладок для регулирования положения прибора на раме.

Контроль положения микрометра проводят по эталонному образцу (детали), закреплённому в центрах (т. о. погрешность базирования  $\varepsilon_{\text{баз}} = 0$ ).

Лазерный микрометр крепят к горизонтальной части рамы болтами с гайками М6 с использованием регулировочных прокладок.

Место крепления микрометра к раме выше по уровню над общей горизонталью рамы, и выполняют в виде прилива высотой 1 мм. Это необходимо для упрощения процесса обработки и обеспечения плоскостности горизонтали рамы 6 мкм.

Система представляет собой лазерный микрометр, устанавливаемый в суппорт токарного станка на специально спроектированной раме. Общий вид системы представлен на рисунке 3, где:

- 1- лазерный микрометр;
- 2- объект измерения;
- 3- рама.

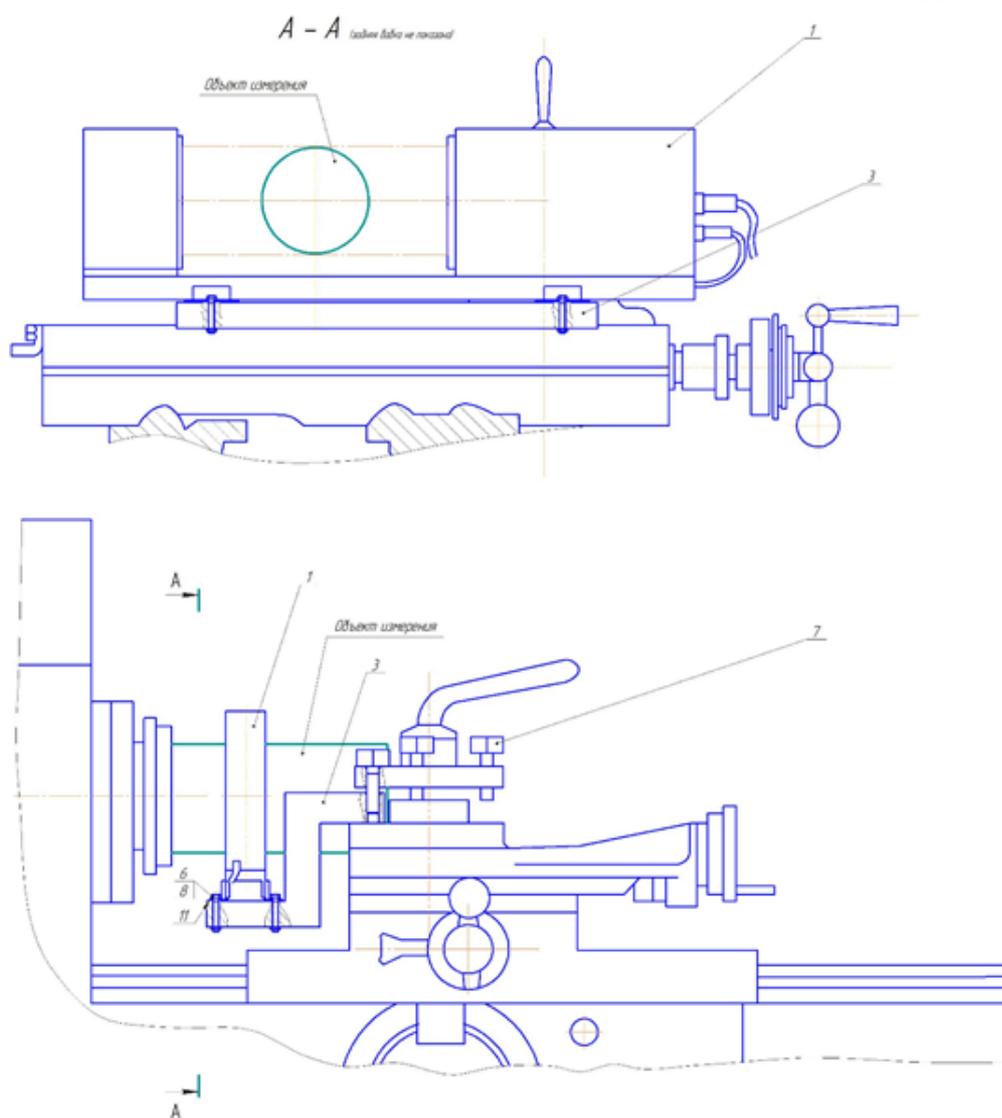


Рис. 3. Общий вид измерительной системы с использованием лазерного микрометра на токарном станке

При теновом методе положение микрометра относительно горизонтальной оси не имеет значения. Положение микрометра относительно вертикальной оси регулируется набором прокладок, закрепляемых между микрометром и рамой.

### Расчёт суммарной погрешности измерительного приспособления

При расчете КИП на точность определяют его суммарную погрешность измерения  $\varepsilon_{\text{изм}}$ , состоящую из систематических и случайных погрешностей, по формуле 2:

$$\varepsilon_{\text{изм}} = \varepsilon_{\text{иу}} + \varepsilon_{\text{ип}} + \varepsilon_{\text{им}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{ис}}^2 + \varepsilon_{\text{зп}}^2 + \varepsilon_{\text{си}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{иу}$  - систематическая погрешность, вызванная неточностью изготовления установочных элементов и неточностью их расположения на корпусе контрольно-измерительного приспособления при его сборке;

$\varepsilon_{ип}$  - систематическая погрешность, вызванная неточностью изготовления передаточных элементов, рычагов, штифтов, стержней и др.;

$\varepsilon_{им}$  - систематическая погрешность, вызванная неточностью изготовления установочных мер и эталонных деталей, используемых для настройки средств измерения на контролируемый параметр (при их использовании);

$\varepsilon_{иб}$  - погрешность, вызванная несовмещением измерительной базы с технологической базой (в приспособлениях для межоперационного контроля) или конструкторской базой (в приспособлениях для окончательного контроля);

$\varepsilon_{з}$  - погрешность, возникающая в результате закрепления контролируемого объекта, вследствие его возможной деформации (не учитывается, если деталь жесткая, а силы закрепления небольшие или отсутствуют);

$\varepsilon_{ис}$  - погрешность, зависящая от измерительной силы, возникает в результате смещения измерительной базы детали от заданного положения в процессе измерения, имеет случайный характер (учитывается только для высокоточных измерений или при контроле нежестких деталей);

$\varepsilon_{зп}$  - погрешность, возникающая по причине зазоров между осями рычагов передаточных устройств (при их наличии);

$\varepsilon_{си}$  - погрешность используемого средства измерений;

$\varepsilon_{др}$  - другие погрешности, вызванные действием случайных факторов при выполнении контроля. К ним относятся: погрешность базирования детали, погрешность из-за износа элементов приспособления и их температурных деформаций, погрешность, связанная с квалификацией контролера, погрешность отклонения деталей или эталонов от правильной геометрической формы (при их использовании) и др. Вклад этих погрешностей по отдельности незначителен, однако в сумме они могут повлиять на точность контроля. [3]

Для измерительной системы с лазерным микрометром:

$\varepsilon_{иу} = 0$  – установочные поверхности регулируются прокладками и настраиваются по мере

$\varepsilon_{ип} = 0$  – отсутствуют передаточные механизмы

$\varepsilon_{им} = 4 \text{ мкм}$  – погрешность изготовления эталонной детали

---

$\varepsilon_{нб} = 0$  – совмещение технологической и измерительной базы  
 $\varepsilon_{з} = 0$  – отсутствие деформации при закреплении детали  
 $\varepsilon_{ис} = 0$  – отсутствие измерительной силы, так как бесконтактный метод измерения

$\varepsilon_{зп} = 0$  – отсутствие зазоров передаточных механизмов

$\varepsilon_{си} = 8 \text{ мкм}$  – погрешность лазерного микрометра

$\varepsilon_{баз} = 0$  – погрешность базирования (контроль в кулачке без снятия детали после обработки)

$\varepsilon_{темп} = 5,1 \text{ мкм}$  – температурная погрешность (Была рассчитана как максимальное удлинение детали при следующих условиях. Деталь из стали измеряется бесконтактным лазерным микрометром, закреплённым на раме. Марка стали, из которой сделан микрометр, и марка стали детали неизвестны. Температура помещения в цеху  $(22 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ , температуру детали примем равной температуре окружающей среды  $(22 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ . Максимальный контролируемый размер детали  $l=d_o=60 \text{ мм}$ .)

Поэтому суммарная погрешность измерений находится по формуле 3:

$$\varepsilon_{изм} = \varepsilon_{ну} + \varepsilon_{ип} + \varepsilon_{им} + \sqrt{\varepsilon_{нб}^2 + \varepsilon_{з}^2 + \varepsilon_{ис}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{темп}^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{изм} = 4 + \sqrt{8^2 + 5,1^2} = 13,49 \text{ мкм}$$

### **Вывод**

Суммарная погрешность измерений с помощью системы оперативного контроля с лазерным микрометром обеспечивает необходимую точность измерений, чтобы быть рассмотренной в качестве альтернативы существующим методам контроля на токарных станках.

### **Метрологическая проверка геометрической точности станков**

Была проведена метрологическая проверка геометрической точности станка ТВ-4 с целью установления возможности размещения на нём системы оперативного контроля с лазерным микрометром. Проверка проводилась в соответствии со «Схемой проверки геометрической точности станка» [4].

Была дана оценка следующим параметрам:

- радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя передней бабки
- осевое биение шпинделя передней бабки
- радиальное биение конического отверстия шпинделя передней бабки

- параллельность оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта

1. Радиальное биение центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон проверяют с помощью индикатора. Схема измерения приведена на рисунке 4. При этом измерительный стержень индикатора устанавливают перпендикулярно образующей центрирующей шейки шпинделя. [4] Результаты измерений представлены в таблице 1.

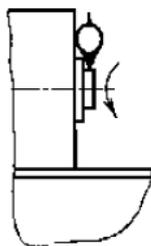


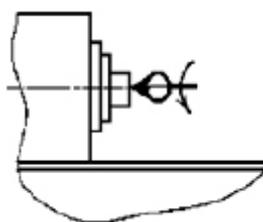
Рис. 4. Схема измерения радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон

Таблица 1

Результаты измерения радиального биения центрирующей поверхности шпинделя передней бабки под патрон

Допуск, мкм	Измеренное значение, мкм
10	9,27

2. Осевое биение шпинделя передней бабки измеряют с помощью оправки, вставленной в отверстие шпинделя, и индикатора, установленного на станке при вращающемся шпинделе, как показано на рисунке 5. Измерительный стержень индикатора с плоским наконечником упирается в шарик, который установлен в центральное отверстие оправки. [4] Результаты измерений представлены в таблице 2.



а



б

Рис. 5. Измерение осевого биения шпинделя передней бабки:

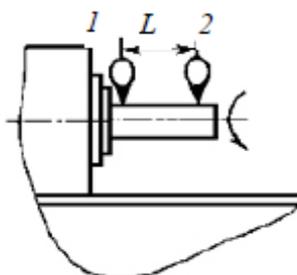
а - схема измерения; б - фотография

Таблица 2

Результаты измерения осевого биения шпинделя передней бабки

Допуск, мкм	Измеренное значение, мкм
10	5,88

3. Радиальное биение конического отверстия шпинделя передней бабки проверяют с помощью оправки длиной  $L=300$  мм, вставленной в отверстие шпинделя, и индикатором, установленным в резцедержатель станка при вращающемся шпинделе (рис. б).[4] Результаты измерений представлены в таблице 3.



а



б



в

Рис. 6. Измерение радиального биения конического отверстия шпинделя передней бабки в начальном и конечном положениях:

а - схема измерения; б - фотография измерения в начальном положении;

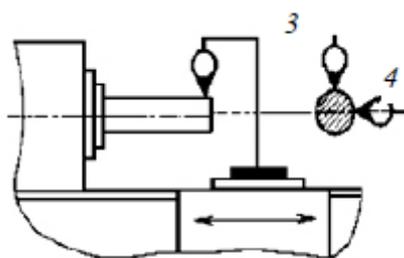
в - фотография измерения в конечном положении

*Таблица 3*

Результаты измерения радиального биения конического отверстия шпинделя передней бабки

	Допуск, мкм	Измеренное значение, мкм
Положение 1	10	243,25
Положение 2	20	891,92

4. Параллельность оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта проверяют с помощью оправки длиной  $L = 300$  мм, установленной в отверстие шпинделя, и индикатором, установленным на суппорте станка, как показано на рисунке 7. Измерение производят по образующей оправки в вертикальной (положение 3) и горизонтальной (положение 4) плоскостях. При этом снимают показания индикатора по двум диаметрально расположенным образующим оправки (при повороте шпинделя на  $180^\circ$ ), перемещая суппорт с индикатором от торца шпинделя на расстояние  $L = 300$  мм. Затем определяют среднеарифметическое значение отклонений, измеренных по двум образующим (отдельно для горизонтальной и для вертикальной плоскостей).[4] Результаты измерений представлены в таблице 4.



а



б

Рис. 7. Измерение параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному перемещению суппорта:

а - схема измерения; б - фотография измерения

Измерение параллельности оси вращения шпинделя передней бабки продольному  
перемещению суппорта

	Допуск, мкм	Измеренное значение, мкм
Положение 3	30	$(106+148,5)/2 = 127,25$
Положение 4	12	$(129+58) = 93,5$

### Вывод

Была разработана система контроля размеров деталей на станках токарной группы при помощи лазерного микрометра. Была рассчитана погрешность разработанной системы. Была проведена проверка точности станка ТВ-4 с целью установления возможности размещения на нём системы оперативного контроля с лазерным микрометром. В результате проверки было установлено, что технологические параметры шпинделя соответствуют установленным требованиям, технологические параметры трёхкулачкового патрона не соответствуют требованиям. Необходима либо регулировка кулачков, либо расточка кулачков, либо замена всего патрона.

В целом уровень точности станка соответствует уровню точности системы оперативного контроля с лазерным микрометром. Возможна её дальнейшая установка на данный станок.

### Список литературы

1. Сурков И.В., Суркова А.И., Бортовой В.М. Системы автоматизированного контроля деталей и диагностики состояния режущих инструментов для станков с ЧПУ. Программное обеспечение циклов измерения и технологического управления. Режим доступа: [http://www.toolmaker.ru/public/65\\_years/pdf/14.pdf](http://www.toolmaker.ru/public/65_years/pdf/14.pdf) (дата обращения 24.12.2014)
2. Комшин А.С., Сырицкий А.Б. Измерительно-вычислительные технологии эксплуатации металлорежущего оборудования и инструмента // Мир измерений. 2014. №12. С. 3 – 9.
3. Кутин А.А., Рязанов Д.Ю., Рязанов Д.Ю., Седых М.И. Устройство управления зубошлифовальным станком: пат. 137404. 2013. Бюл. № 4 (2 ч.). 2 с.

4. Аверьянов И.Н., Болотеин А.Н., Прокофьев М.А. Проектирование и расчёт станочных и контрольно-измерительных приспособлений в курсовых и дипломных проектах. Рыбинск: РГАТА. 2010. 220 с.
5. Гаврилин А.Н., Мойзес Б.Б. Диагностика технологических систем: учебное пособие. В 3 т. Т. 1. Томск: Издательство Томского политехнического университета. 2013. 120 с.