

УДК 621.91

**Н.В. Сурина**, к.т.н., доц., **М.С. Кожевников**, студ., Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## **Современные средства измерения деталей типа вал**

*В статье представлен анализ современных средств измерений для контроля валов.*

***Ключевые слова:** средства измерения, точность измерений, погрешность измерений, автоматизированные средства измерений.*

**N.V. Surina, M. S. Kozhevnikov**

## **Modern Measuring of Parts Such as Shaft**

*The article presents the analysis of the current measuring means to control shafts.*

***Key words:** measuring, accuracy of measurement, measurement error, automated measuring instruments.*

В современном машиностроительном производстве большое значение уделяют точности изготовления деталей, их размерам и допускам. Применяют ручные, полуавтоматические и автоматизированные средства контроля геометрических параметров.

При выборе средств измерений руководствуются следующими принципами (РД 50-98-86):

- соотношение погрешности средств измерений и допуска измеряемого параметра должно соответствовать нормативным документам;
- условия эксплуатации должны соответствовать рабочим условиям выбираемых средств измерений;
- при прочих равных условиях следует отдавать предпочтение средствам измерений с более высоким уровнем автоматизации;
- предпочтительней применять унифицированные средства измерений.

При измерении конкретного параметра необходимо знать уровень точности применяемого средства измерения, с целью определения его пригодности для решения конкретной метрологической задачи.

На основании технологической документации определяются допустимая погрешность, требуемый диапазон измерений и разрешение средства измерений. Особое внимание уделяется выбору точности

средства измерения, т.к. именно она влияет на точность измерений. Недостаточная точность измерений приводит к тому, что часть годных деталей бракуют (ошибка 1-ого рода), а часть бракованных деталей принимается как годная (ошибка 2-го рода). Излишняя точность измерений приводит к повышению трудоемкости и стоимости контроля. Точность средства измерений определяется уровнем его предельно допустимой погрешности. Для определения предельной погрешности средства измерений ( $\Delta_i$ ), прежде всего, необходимо определить предельно допустимую погрешность измерений ( $\delta$ ). Предельно допустимая погрешность измерений определяется в соответствии с допуском контролируемого параметра (IT) по ГОСТ 8.051-81.

Таблица 1.

**Допускаемые погрешности измерений ( $\delta$ ) в зависимости от допуска контролируемого параметра (IT) в соответствии с ГОСТ 8.051-81, мкм**

Номинальные размеры, мм	Для квалитетов															
	2.0		3.0		4.0		5.0		6.0		7.0		8.0		9	
	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$
До 3	1.2	0.4	2.0	0.8	3	1.0	4	1.4	6	1.8	10	3.0	14	3.0	25	6
Св. 3 >> 6	1.5	0.6	2.5	1.0	4	1.4	5	1.6	8	2.0	12	3.0	18	4.0	30	8
>> 6 >> 10	1.5	0.6	2.5	1.0	4	1.4	6	2.0	9	2.0	15	4.0	22	5.0	36	9
>> 10 >> 18	2.0	0.8	3.0	1.2	5	1.6	8	2.8	11	3.0	18	5.0	27	7.0	43	10
>> 18 >> 30	2.5	1.0	4.0	1.4	6	2.0	9	3.0	13	4.0	21	6.0	33	8.0	52	12
>> 30 >> 50	2.5	1.0	4.0	1.4	7	2.4	11	4.0	16	5.0	25	7.0	39	10.0	62	16
>> 50 >> 80	3.0	1.2	5.0	1.8	8	2.8	13	4.0	19	5.0	30	9.0	46	12.0	74	18
>> 80 >> 120	4.0	1.6	6.0	2.0	10	3.0	15	5.0	22	6.0	35	10.0	54	12.0	87	20
>> 120 >> 180	5.0	2.0	8.0	2.8	12	4.0	18	6.0	25	7.0	40	12.0	63	16.0	100	30
>> 180 >> 250	7.0	2.8	10.0	4.0	14	5.0	20	7.0	29	8.0	46	12.0	72	18.0	115	30
>> 250 >> 315	8.0	3.0	12.0	4.0	16	5.0	23	8.0	32	10.0	52	14.0	81	20.0	130	30
>> 315 >> 400	9.0	3.0	13.0	5.0	18	6.0	25	9.0	36	10.0	57	16.0	89	24.0	140	40
>> 400 >> 500	10.0	4.0	15.0	5.0	20	6.0	27	9.0	40	12.0	63	18.0	97	26.0	155	40

Номинальные размеры, мм	Для квалитетов															
	10		11		12		13		14		15		16		17	
	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$	IT	$\delta$
До 3	40	8	60	12	100	20	140	30	250	50	400	80	600	120	1000	200
Св. 3 >> 6	48	10	75	16	120	30	180	40	300	60	480	100	750	160	1200	240
>> 6 >> 10	58	12	90	18	150	30	220	50	360	80	580	120	900	200	1500	300
>> 10 >> 18	70	14	110	30	180	40	270	60	430	90	700	140	1100	240	1800	380
>> 18 >> 30	84	18	130	30	210	50	330	70	520	120	840	180	1300	280	2100	440
>> 30 >> 50	100	20	160	40	250	50	390	80	620	140	1000	200	1600	320	2500	500
>> 50 >> 80	120	30	190	40	300	60	460	100	740	160	1200	240	1900	400	3000	600
>> 80 >> 120	140	30	220	50	350	70	540	120	870	180	1400	280	2200	440	3500	700
>> 120 >> 180	160	40	250	50	400	80	630	140	1000	200	1600	320	2500	500	4000	800
>> 180 >> 250	185	40	290	60	460	100	720	160	1150	240	1850	380	2900	600	4600	1000
>> 250 >> 315	210	50	320	70	520	120	810	180	1300	260	2100	440	3200	700	5200	1100
>> 315 >> 400	230	50	360	80	570	120	890	180	1400	280	2300	460	3600	800	5700	1200
>> 400 >> 500	250	50	400	80	630	140	970	200	1550	320	2500	500	4000	800	6300	1400

При выборе средств измерений следует руководствоваться следующими рекомендациями.

Предельно допустимая погрешность средства измерений должна быть не больше 60% от допустимой погрешности ( $\delta$ ), т.е.  $(\Delta_i) \leq \delta \cdot 0,6$ . В соответствии с этим условием подбирается средство измерения, однако, наиболее приемлемым по трудоемкости считают средство, у которого предельно допустимая погрешность  $\Delta_i$  наиболее приближена к расчетной  $\delta$  [1].

Действующий ГОСТ ограничивает погрешность средства измерения на уровне 30% от поля допуска на размер. Эта норма не учитывает влияние неопределенности измерения, поэтому желательно выбирать средство измерения с погрешностью, в десять раз меньшей, чем поле допуска на деталь. Именно этот подход заложен в большинство директив по качеству ведущих мировых концернов [2].

### Средства измерений для контроля валов.

**Рабочие универсальные средства измерений: штангенциркули и микрометры** (характеризуются не высокой точностью и высокой универсальностью).

- Штангенциркули, применяются для измерения линейных размеров, не требующих высокой точности. Применяются шкальные и цифровые штангенциркули.

Таблица 2

Предел допускаемой погрешности штангенциркулей в соответствии с ГОСТ 166–89								
Диапазон измерения, мм	Предел допускаемой погрешности, мм							
	Цена деления нониуса			Цена деления круговой шкалы				Дискретность цифровой шкалы
	0,05	0,1		0,02	0,05	0,1		
		Класс точности				Класс точности		
1		2	1			2		
до 200	0,05	0,05	0,1	0,03	0,04	0,05	0,08	0,03
0–300	0,05	0,05	0,1	0,04	0,04	0,05	0,08	0,04
0–400	0,05	0,1	0,1					0,05
0–600	0,1	0,1						0,05
0–800	0,1	0,1						0,06
0–1000	0,1	0,1						0,07
0–1100		0,15						
0–1200		0,16						
0–1300		0,17						
0–1400		0,18						
0–1500		0,19						
0–2000		2,0						

- микрометры: гладкие, цифровые, рычажные предназначены для измерения наружных линейных размеров.

Таблица 3

Пределы допустимых абсолютных погрешностей микрометра в соответствии с ГОСТ 6507–90						
Верхний предел измерений микрометра, мм	Предел допускаемой погрешности микрометра с отсчетом показаний, мкм					Допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 10 Н, мкм
	По шкалам стебля и барабана классов точности		По шкалам стебля и барабана с нониусом	По электронному цифровому устройству классов точности		
	1	2		1	2	
25	±2,0	±4,0	±2,0	±2,0	±4,0	2,0
50	±2,5	±4,0	±2,0	±2,0	±4,0	2,0
75	±2,5	±4,0	±3,0	±2,0	±4,0	3,0
100	±2,5	±4,0	±3,0	±3,0	±4,0	3,0
125	±3,0	±5,0	±3,0	±3,0	±4,0	4,0
150	±3,0	±5,0	±3,0	±3,0	±4,0	4,0
175	±3,0	±5,0	±3,0	±3,0	±4,0	5,0

**Средства измерений, реализующие метод сравнения: калибры скобы, калибры пробки** (высокие технические характеристики и производительность измерений).

Нерегулируемые калибры изготавливаются специально для измерения определенного размера по предельным размерам поля допуска.

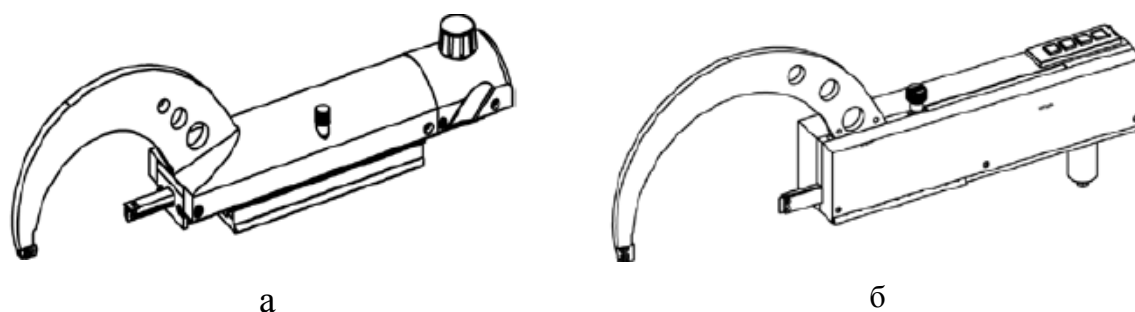
Регулируемые калибры настраиваются для сравнительных измерений ряда конкретных размеров.

**Системы для измерения валов** (высокая производительность за счет возможности измерения различных параметров детали за «один установ», высокая точность измерений).

Максимально средняя допустимая погрешность при измерении диаметров на приборах с ручным управлением  $(0,5+L/100)$  мкм, на автоматических  $(1,5+L/125)$ ; длины -  $(3+L/100)$  мкм, на автоматических приборах  $(2+L/125)$  мкм,  $L$  – номинальное значение измеряемого размера.

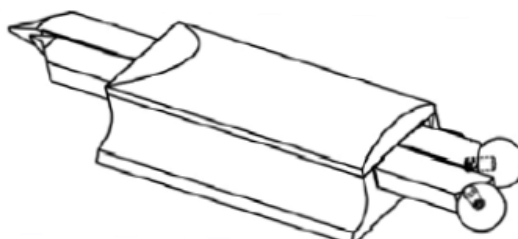
Ручные приборы для измерения диаметра валов обладают более низкой производительностью по отношению к приборам с автоматическим управлением.

Головка для измерения диаметров валов с ручным и автоматическим приводами имеет предельную погрешность при измерении диаметра 2-5 мкм.



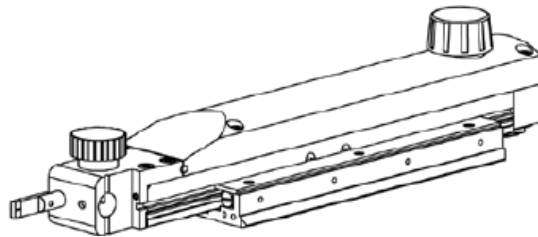
**Рис. 1. Головка с ручным (а) и автоматическим (б) перемещением**

В крайнем заднем положении головки создается необходимое измерительное усилие и фиксируется результат измерения. Таким образом, для измерения диаметральных величин требуется всего одно движение, поэтому измерение диаметра может быть произведено за 3..5 секунды, включая позиционирование головки по длине на нужное место.



**Рис. 2. Головка для измерения длины**

Один из двух стальных измерительных наконечников выдвигается из головки на необходимую длину, позволяющую коснуться измеряемого торца. Каретка с головкой подводится до касания наконечником этого торца. На каретке имеется фиксирующая система. Поворотом ручки этой системы в нужном направлении каретка прижимается к измеряемому торцу с нужным измерительным усилием, и фиксируется. В этом положении производится считывание координаты для последующего определения размера. Правые и левые наконечники могут быть использованы попеременно в любой последовательности. В любом положении может быть произведено обнуление текущей координаты для отображения истинного размера в привычном виде. Для измерения размеров, заданных размерными цепочками, можно определить две нулевые точки и свободно переключаться между ними.



**Рис. 3. Головка для измерения радиального и торцевого биения**

При применении этой головки необходимо коснуться наконечником измеряемой поверхности. При измерении радиального биения измерительное усилие в радиальном направлении создается самой головкой. При измерении торцевого биения применяется та же фиксирующая система, что и при измерении линейных размеров. После того, как создано измерительное усилие, производится оборот детали с помощью привода вращения, встроенного в переднюю бабку. После завершения оборота выводится информация о биении, а также информация о круглости и соосности данной поверхности. На экран выводится график круглости измеренной поверхности.

Некоторые станочные приборы для ручного измерения имеют горизонтальную компоновку. На стальной или гранитной станине имеются две зоны. В одной зоне смонтированы высокоточные направляющие, по которым перемещаются каретки, на которые, в свою очередь, устанавливаются измерительные головки. Во второй зоне на отдельных направляющих установлены передняя и задняя бабки. Задняя бабка имеет возможность продольного перемещения по своим направляющим. Передняя бабка выставляется на направляющих с высокой точностью относительно задней бабки. На задней бабке смонтированы эталоны, по которым производится калибровка системы. Наличие эталона непосредственно на машине существенно облегчает метрологическое обслуживание системы. Проверка точности может быть

произведена в любое время и, при необходимости, система может быть в любой момент откалибрована заново.

На каретках устанавливаются измерительные головки. Как правило, применяются три головки – для измерения диаметра, для измерения длины и для измерения биений [2].



**Рис. 4. Прибор для измерения валов**

**Горизонтальная мультисенсорная измерительная система** (автоматизация и высокая точность измерений).

Предназначена для комплексного контроля валов. Может реализовать два метода: метод контроля поверхности в отраженном свете и метод контактного сканирования. Абсолютный метод измерения не требует настроечного эталона.

Возможность совмещения методов измерения позволяет работать как с двухмерными, так и с трехмерными CAD моделями любых типов валов. Осуществляет сравнение детали с ее моделью.

Системы используют два режима измерения:

- статический, измерение внешних диаметров, длин, радиусов, углов, проточек, фасок, диаметров отверстий и т.д.

- динамический, измеряются радиальные и торцевые биения, погрешности круглости и цилиндричности и т.д.

Кроме того, измеряются шлицевые и шпоночные проточки, расположенные вдоль оси вала.

Система управляется ЧПУ. Результаты представляются в графическом, табличном и текстовом виде.

Предел допускаемой основной погрешности по осям координат, мкм (L в мм.)

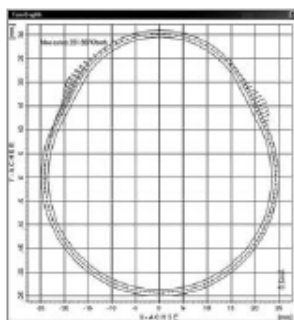
$$E1 = \pm(1,0 + L/300)$$

$$E2 = \pm(2,0 + L/300)$$

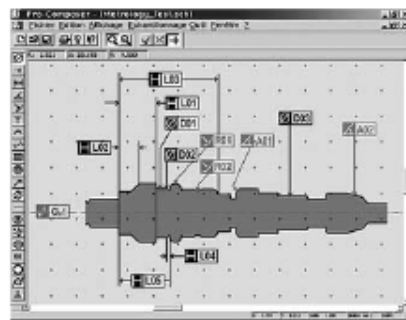
$$E3 = \pm(2,8 + L/300)$$



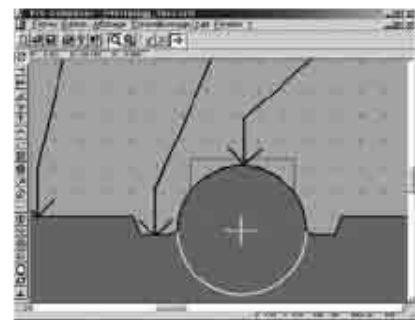
**Рис. 5. Горизонтальная мультисенсорная измерительная система**



Графический отчет контроля круглости, с цветным обозначением отклонений от номинала



Чертеж вала с измеренными параметрами



Функция увеличения позволяет детально контролировать мелкие элементы вала

**Вертикальная измерительная сканирующая видеосистема (автоматизация и высокая точность измерений).**

Предназначена для комплексного контроля линейных размеров и формы поверхностей валов сложной формы.

Измерительная машина работает тремя методами: методом обработки светового контура детали в проходящем параллельном свете, методом контроля поверхности в отраженном свете и методом контактного сканирования. Сочетание трех методов обеспечивает быстрый комплексный контроль всех параметров вала. Возможности измерений аналогичны предыдущей системе.

Предел допускаемой основной погрешности  
по осям координат

$$E_2 = \pm(2,0 + L/200) \text{ мкм (L в мм)}$$



Рис. 6. Вертикальная измерительная сканирующая видеосистема

### Координатно-измерительные машины

Координатно-измерительная машина (КИМ) - устройство для измерения физических, геометрических характеристик объекта. Машина может управляться вручную оператором или автоматизировано компьютером. Измерения проводятся посредством зонда, прикрепленного к подвижной оси машины. Измерительные зонды могут быть механического, оптического, лазерного типа, дневного света, и другими.

Координатно-измерительные машины используются для измерения геометрических элементов деталей (например, размера диаметра, угла, угловатости, параллельности). Принцип работы машины состоит в следующем: измерение относительно сложных форм, размеров и позиций сводятся к определению и математической оценке пространственных координат отдельных точек. Результаты этих измерений можно представить, как в графическом виде, так и в табличном.

Типичная «мостовая» КИМ является трехосной с X, Y и Z осями. Оси ортогональны друг к другу и образуют обычную трехмерную систему координат. Каждая ось имеет свой масштаб, что определяет расположение этой оси. Машина считывает данные с сенсорного датчика, по указанию оператора или компьютера. Затем машина использует X, Y, Z координаты каждой из этих точек, чтобы определить размер и расположение.

В среднем предельно допустимые погрешности измерений с различными типами щупов составляют

$$(1,5 + L/333) \text{ мкм и } (1,7 + L/333) \text{ мкм.}$$





**Рис. 7. Координатно-измерительная машина портального типа**



**Рис. 8. Координатно-измерительная машина «рука»**

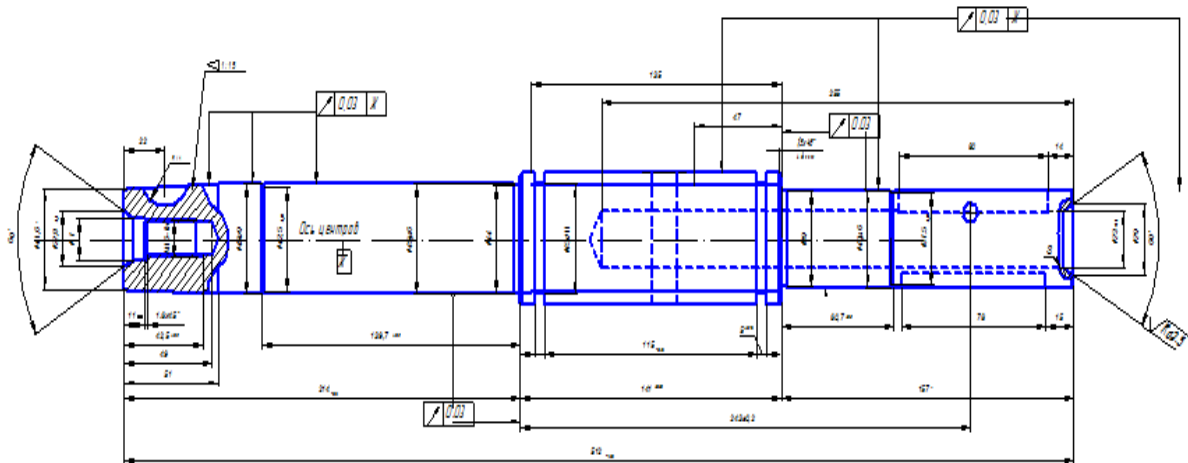
Преимущества координатно-измерительных машин:

- возможность за «один установ» измерить все доступные поверхности, что позволяет производить все измерения без переустановки. При измерении тел вращения применяют вращающийся упорный центр.

- высокая точность измерения поверхности детали.

- компактность оборудования по габаритам и массе.

**Выбор средств измерений для контроля размеров детали вал фрикционный шпиндельной бабки токарного станка модели МК6046.** Выбор средств измерений осуществляется для критических размеров детали, влияющих на работоспособность и функциональность вала. Данные размеры необходимо строго контролировать в процессе изготовления.



**Рис. 9. Вал фрикционный**

### **Выбор ручных средств измерений для контроля основных параметров вала фрикционного.**

Определим допуск и предельно допустимую погрешность измерений на контролируемые размеры (таблица 1):

$\varnothing 45js6$  и  $\varnothing 40js6$  – 6 квалитет. IT=16;  $\delta = 5$  мкм.

$\varnothing 40f7$  – 7 квалитет. IT=25;  $\delta = 7$  мкм.

$\varnothing 45h9$  – 9 квалитет. IT=62;  $\delta = 16$  мкм.

$\varnothing 45d11$  – 11 квалитет. IT=160;  $\delta = 40$  мкм.

$\varnothing 54g6$  – 6 квалитет. IT=16;  $\delta = 5$  мкм

Исходя из вышеизложенных рекомендаций, предельно допустимая погрешность средства измерения при измерении размеров 6 квалитета точности составляет 2 мкм, 7 квалитета – 3 мкм, 9 квалитета – 6 мкм, 11 квалитета 30 мкм.

Данная деталь имеет максимальный допуск по 11 квалитету IT=160 мкм на  $\varnothing 45d11$ . Предельно допустимая погрешность средства измерения составляет 30 мкм, следовательно, для измерения этого размера выбираем штангенциркуль с круговой шкалой и ценой деления 0,02 мм (таблица 2).

Минимальный допуск по 6 квалитету IT=16 мкм на  $\varnothing 45js6$  и  $\varnothing 40js6$ . Предельно допустимая погрешность средства измерения составляет 2 мкм, следовательно, для измерения этого размера выбираем микрометр с электронным цифровым устройством (таблица 3).

Для контроля размеров 7 и 9 квалитетов точности можно так же выбрать средство измерения – микрометр.

Для контроля параметров фрикционного вала рекомендуется применить ручные и автоматизированные системы для измерения валов, которые для контроля данных размеров обеспечивают погрешность измерения 0,9-0,95 мкм для приборов с ручным управлением и 1,82-1,86 мкм на автоматических приборах.

## **Выбор автоматизированных средств измерений для контроля основных параметров вала фрикционного.**

Руководствуясь минимальным значением предельно допустимой погрешности средства измерения при измерении размеров 6 качества точности, которая составляет 2 мкм, можно рекомендовать для контроля вала высокопроизводительные современные горизонтальные и вертикальные измерительные сканирующие системы обеспечивающие погрешность измерения разметов вала в пределах от 1,13 до 1,15 мкм.

Координатно-измерительные машины так же могут быть рекомендованы для измерения вала, т.к. обеспечивают предельно допустимую погрешность измерения диаметральных размеров от 1,62 до 1,63 мкм.

### **Список литературы**

1. «Средства измерения». Каталог компании «Интра Тул».
2. Д.А. Локтев. Современные средства измерения валов. Журнал «Стружка» 32, 2014, с. 16-20.
3. ГОСТ 8.051-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм.