

**Ключевые слова:**

внутренний конус, погрешность измерения, нормирование точности, угол конуса, отклонения формы, составляющие погрешности, анализ погрешностей

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ КОНТРОЛЕ УГЛА И ДИАМЕТРОВ ВНУТРЕННИХ КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АТТЕСТОВАННЫХ ШАРИКОВ

Ирина ИВАНИНА, Наталия КРУШНЯК

Представлен анализ методов измерения геометрических параметров внутренних конусов при дифференцированном контроле и способы оценки их точности. Определены структура погрешностей измерения и частные составляющие погрешности нормируемых параметров. В аналитическом виде получены уравнения погрешностей измерения.

ВВЕДЕНИЕ

Производительность и точность обработки деталей на металлорежущих станках в значительной степени зависят от технологической оснастки, то есть от конструкций станочных приспособлений. Они должны при небольших затратах на проектирование, изготовление и эксплуатацию обеспечивать получение высококачественных деталей: станочные – для базирования и закрепления деталей, вспомогательные – предназначены для установки режущего инструмента (это бортштанги, переходные втулки и т.д.) Наряду с цилиндрическими деталями в машиностроении получили довольно широкое распространение детали с коническими поверхностями. Примерами их могут служить конусы центров, хвостовиков сверл, зенкеров, разверток. Для крепления этих инструментов передние участки в отверстиях шпинделя и пиноли токарного станка имеют также коническую форму. Конические опоры вращения находят широкое применение в конструкциях высокоточных машин и приборов; шпинделях и оправках станков и т.д.

Для металлообработки в инструментальной оснастке широко используются разнообразные конические соединения. Для установки и закрепления вспомогательного инструмента в шпинделях суппортных устройств станков с ЧПУ применяют конструкции конических соединений с конусностью 1:10 [2], служащие для закрепления как вращающегося осевого многолезвийного инструмента, так и неподвижного инструмента типа резцов. В современных станках с ЧПУ также применяют конусы с конусностью 7:24, позволяющей получить точное центрирование и легкое разделение сопряженных деталей.

В работах [4, 5, 6] отмечается, что для обеспечения точности положения установленного в шпиндель инструмента и жесткости его крепления важно выполнение требований по точности угла конуса и допуску отклонения от круглости его поперечных сечений. В работе [2] экспериментальным путем подтверждена взаимосвязь величины отклонений углов конусов конических хвостовиков инструмента и эксплуатационных показателей качества его базирования и закрепления – величины

радиального биения, меры его рассеяния, а также виброустойчивость технологической системы. Точность исполнительных размеров конусов, в частности инструментальных, напрямую связана с эксплуатационными показателями технологической системы.

Точность инструментальных конусов – предельные отклонения угла конуса и допуски формы поверхности конуса, нормируется ГОСТ 25307-82 «Система допусков и посадок для конических соединений» и ГОСТ 8908-81 «Допуски угловых размеров и углов конусов».

Требования к точности исполнительных размеров определяют правильность выбора средств измерения (контроля), который должен включать не только оценку предельной погрешности измерения, но и возможность анализа ее составляющих. Так, например, выполненная в работе [1] сравнительная оценка и анализ погрешностей координатных измерений (измерения проводились на контрольно-измерительной машине DEA GLOBAL 05-05-05 Hexagon Metrology) конических хвостовиков типа HSK и погрешностей измерений в специальном контрольном приспособлении фирмы GUHRING в рассматриваемом случае показали целесообразность использования специализированных приборов.

Стандартом ГОСТ 2848-75 установлены средства контроля и их техническая характеристика для различной точности проверяемых конусов. Дифференцированный (позлементный) контроль конусов включает измерения следующих параметров: угла конуса (α); диаметра большого основания (D) или малого основания (d); отклонения от прямолинейности образующей (EFL); отклонения от круглости (EFK). Для перечисленных параметров определим предельные погрешности измерения, составляющие погрешностей и их удельный вес в суммарной величине.

ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА КОНУСА ВТУЛКИ С ПОМОЩЬЮ ДВУХ АТТЕСТОВАННЫХ ШАРИКОВ

Для измерения угла внутреннего конуса применяются аттестованные шарики. В конусное отверстие втулки закладывается меньший шарик диаметром $d_{ш}$ (рис. 1) и измеряется расстояние h . Затем закладывается шарик диаметром $D_{ш}$ и измеряется расстояние H .

Значение половины угла конуса α определяют из уравнения:

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{D_{ш} - d_{ш}}{2l},$$

$$\text{где } l = (H - h) - \frac{D_{ш} - d_{ш}}{2}.$$

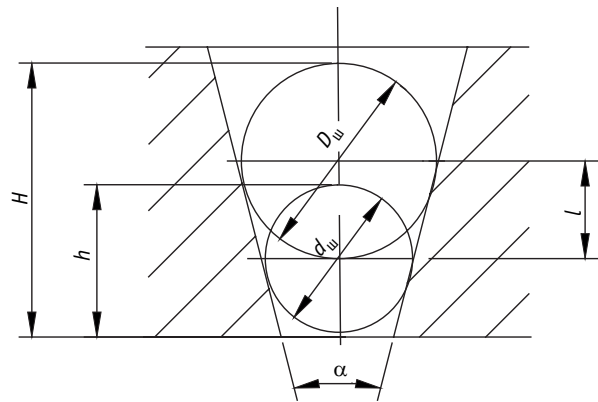


Рис. 1. Измерения угла конуса втулки

Откуда:

$$\alpha = 2 \arcsin \left(\frac{D_{ш} - d_{ш}}{2l} \right). \quad (1)$$

Диаметр закладываемых шариков может быть любым, но желательно подбирать их таким образом, чтобы расстояние l между шариками было возможно большим. Размер шариков должен быть аттестован на оптиметре по концевым мерам 4-го разряда. Измерение величин H и h можно производить с помощью вертикального длинномера (с удлиненным наконечником) или при помощи глупиномера.

Погрешность результата измерения угла внутреннего конуса с помощью двух шариков зависит от погрешностей аттестации диаметров шариков $\Delta D_{ш}$ и $\Delta d_{ш}$, от погрешностей измерения ΔH и Δh отрезков H и h и от нестабильности положения шариков.

Дифференцируя выражение (1) по $D_{ш}$, $d_{ш}$, H и h , получим частные составляющие погрешности:

→ из-за погрешностей аттестации диаметров шариков $\Delta D_{ш}$ и $\Delta d_{ш}$:

$$\Delta \alpha_{D_{ш}} = \frac{2}{l} \cdot \frac{H-h}{D_{ш}-d_{ш}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta D_{ш} \cdot 10^3, \text{ мкр},$$

$$\Delta \alpha_{d_{ш}} = -\frac{2}{l} \cdot \frac{H-h}{D_{ш}-d_{ш}} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta d_{ш} \cdot 10^3, \text{ мкр};$$

→ из-за погрешностей измерения размеров H и h :

$$\Delta \alpha_H = -\frac{2}{l} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta H \cdot 10^3, \text{ мкр};$$

$$\Delta \alpha_h = -\frac{2}{l} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta h \cdot 10^3, \text{ мкр},$$

где погрешности $\Delta D_{ш}$, $\Delta d_{ш}$, ΔH и Δh выражаются в мкм.

Основной составляющей погрешности измерения является погрешность от нестабильности положения шариков, то есть из-за разницы положений

одного и того же шарика, который многократно вводят в коническую полость. Это зависит от неодинаковой скорости, сообщаемой шарiku каждый раз при вводе его в коническую полость, из-за чего шарик неодинаково заклинивается в ней (погрешности измерений размеров H и h по сравнению с нестабильностью положения шариков пренебрежимо малы).

Погрешность из-за нестабильности положения шариков оценивается экспериментально. Для этого проводят многократные измерения размеров H и h .

Вычисляют среднеарифметические значения:

$$\bar{H} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{n}, \text{ мм, и}$$

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \text{ мм}$$

и эмпирические средние квадратичные отклонения:

$$S_{\bar{H}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n(n-1)}}, \text{ мм, и}$$

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}, \text{ мм.}$$

Эмпирическое среднеквадратичное отклонение случайной погрешности измерения угла внутреннего конуса от нестабильности положения шариков равно:

$$S_{\text{нест}} = S_{\bar{\alpha}} = \frac{2}{l} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{S_{\bar{H}}^2 + S_{\bar{h}}^2} \cdot 10^6, \text{ мкр.}$$

Доверительная случайная погрешность измерения угла внутреннего конуса из-за нестабильности положения шариков определяется по формуле:

$$\Delta_{\text{нест}} = \pm t S_{\bar{\alpha}}, \text{ мкр,}$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа степеней свободы $(n-1)$ (табл. II).

Полная погрешность результата измерения угла внутреннего конуса на длине измерения l определяется выражением:

$$\Delta_{\Sigma \alpha} = \pm 3 \sqrt{\left(\frac{\Delta \alpha_{D_{\text{ш}}}}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_{d_{\text{ш}}}}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_H}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_h}{3}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \alpha_{\text{нест}}}{t}\right)^2} \cdot 2 \cdot 10^{-1},$$

угл. с.

Результат измерения угла внутреннего конуса определяется по формуле:

$$\bar{\alpha} = 2 \arcsin \left(\frac{D_{\text{ш}} - d_{\text{ш}}}{2 \bar{l}} \right),$$

где \bar{l} – среднеарифметическое значение отрезка l , равное

$$\bar{l} = \bar{H} - \bar{h} - \frac{D_{\text{ш}} - d_{\text{ш}}}{2}.$$

ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРОВ ОСНОВАНИЯ КОНУСА ВТУЛКИ

Измерение диаметров D и d внутреннего конуса производится с помощью аттестованного шарика. При измерении диаметра D в коническое отверстие втулки закладывается шарик диаметром $d_{\text{ш}}$ и измеряется расстояние h . Затем измеряется высота конической втулки B (рис. 2). Измерение размеров h и B производится с помощью вертикального длиномера.

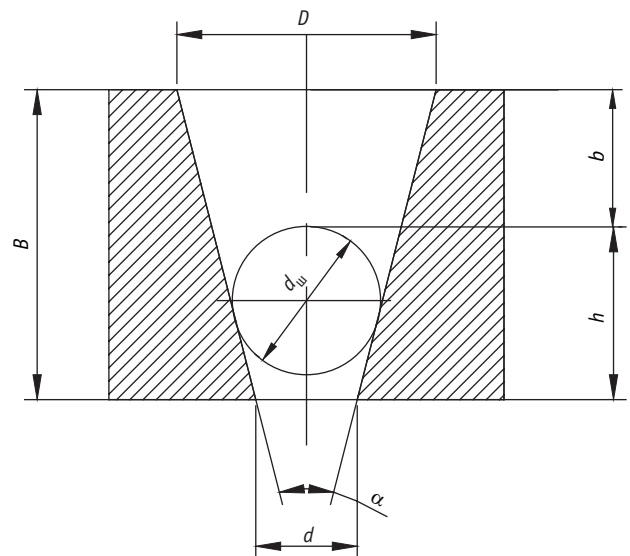


Рис. 2. Измерение диаметров основания конуса втулки

Диаметр D отверстия конической втулки рассчитывается по формуле

$$D = \frac{d_{\text{ш}}}{\cos \frac{\alpha}{2}} + 2 \left(b + \frac{d_{\text{ш}}}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (2)$$

где $b = B - h$; B – высота конуса; h – расстояние от шарика до нижнего торца конуса.

Погрешность измерения диаметра D конического отверстия зависит от погрешности аттестации шарика $\Delta d_{\text{ш}}$, погрешностей измерения ΔB и Δh размеров B и h и от нестабильности положения шарика.

Дифференцируя выражение (2) по $d_{\text{ш}}$, B и h , получим частные составляющие погрешности:

→ из-за погрешности аттестации шарика

$$\Delta D_{d_{\text{ш}}} = \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \Delta d_{\text{ш}}, \text{ мкм;}$$

→ из-за погрешностей измерения размеров B и h :

$$\Delta D_{B,h} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta b = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{(\Delta B)^2 + (\Delta h)^2}, \text{ мкм,}$$

где погрешности $\Delta d_{\text{ш}}$, ΔB и Δh выражаются в мкм.

Погрешность из-за нестабильности положения шарика оценивается экспериментально. Для этого проводят многократные измерения размеров B и h .

Вычисляют среднеарифметические значения

$$\bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n}, \text{ мм, и}$$

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \text{ мм}$$

и эмпирические среднеквадратичные отклонения

$$S_{\bar{B}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - \bar{B})^2}{n(n-1)}}, \text{ мм, и}$$

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}, \text{ мм.}$$

Эмпирическое среднеквадратичное отклонение случайной погрешности измерения диаметра D конического отверстия из-за нестабильности положения шарика равно:

$$S_{\text{нест}} = S_{\bar{D}} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{S_{\bar{B}}^2 + S_{\bar{h}}^2} \cdot 10^3, \text{ мкм.}$$

Доверительная случайная погрешность измерения диаметра D из-за нестабильности положения шарика определяется по формуле:

$$\Delta D_{\text{нест}} = \pm t S_{\text{нест}}, \text{ мкм,}$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа степеней свободы $(n-1)$ (табл. II).

Полная погрешность измерения диаметра D конического отверстия определяется выражением:

$$\Delta D_{\Sigma} = \pm 3 \sqrt{\left[\frac{\Delta D_{d_{\text{ш}}}}{3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta D_{B,h}}{3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta D_{\text{нест}}}{t}\right]^2}, \text{ мкм.}$$

При измерении диаметра d в коническое отверстие закладывается шарик диаметром $d_{\text{ш}}$ и измеряется размер h . Диаметр d рассчитывается по формуле:

$$d = \frac{d_{\text{ш}}}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 2 \left(h - \frac{d_{\text{ш}}}{2} \right) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (3)$$

Погрешность измерения диаметра d конического отверстия зависит от погрешности аттеста-

ции шарика $\Delta d_{\text{ш}}$, погрешности измерения Δh размера h и от нестабильности положения шарика.

Дифференцируя выражение (3) по $d_{\text{ш}}$ и h , получим частные составляющие погрешности:

→ из-за погрешности аттестации шарика:

$$\Delta d_{d_{\text{ш}}} = \left(\frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) \Delta d_{\text{ш}}, \text{ мкм;}$$

→ из-за погрешностей измерения размера h :

$$\Delta d_h = -2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \Delta h, \text{ мкм,}$$

где $\Delta d_{\text{ш}}$ и Δh выражаются в мкм.

Погрешность из-за нестабильности положения шарика определяется экспериментально путем проведения многократных измерений размера h .

Вычисляют среднеарифметическое значение

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}, \text{ мм}$$

и эмпирическое среднеквадратичное отклонение:

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h})^2}{n(n-1)}}, \text{ мм.}$$

Эмпирическое среднеквадратичное отклонение случайной погрешности измерения диаметра d конического отверстия из-за нестабильности положения шарика равно:

$$S_{\text{нест}} = S_{\bar{d}} = 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} S_{\bar{h}} \cdot 10^3, \text{ мкм.}$$

Доверительная случайная погрешность измерения диаметра d из-за нестабильности положения шарика определяется по формуле:

$$\Delta d_{\text{нест}} = \pm t S_{\text{нест}}, \text{ мкм,}$$

где t – коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности P и числа степеней свободы $(n-1)$ (табл. II).

Полная погрешность измерения диаметра d конического отверстия определяется выражением:

$$(\Delta d)_{\Sigma} = \pm 3 \sqrt{\left[\frac{\Delta d_{d_{\text{ш}}}}{3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta d_h}{3}\right]^2 + \left[\frac{\Delta d_{\text{нест}}}{t}\right]^2}, \text{ мкм.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в **аналитическом виде** уравнения погрешностей измерения внутренних конических поверхностей позволяют проводить:

→ анализ результатов измерения;

→ установить соответствие предельной погрешности измерения параметра заданной норме точности измерений, а при несоответствии предельной погрешности измерений норме точности определить приоритетность технических мероприятий и дать рекомендации по повышению точности измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бушуев С. В., Маслов А. Р.** Оценка погрешности определения геометрических параметров инструментальных конусов // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2016. № 3 (38). С. 62–65.
2. **Маслов А. Р., Смолкин Е. М., Аксененко А. Ю.** Обоснование требований к точным зажимным устройствам токарных прутковых автоматов с ЧПУ // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2016. № 4 (39). С. 71–74.
3. **Маслов А. Р.** Контроль качества изготовления хвостовиков инструмента // Инструмент. Технология. Оборудование. 2005. № 5. С. 20–22.

4. **Zavgorodnii V. I., Kozochkin M. P., Maslov A. R., Sabirov F. S.** Influence of the Dynamic Characteristics of the Tooland the Blankon the Vibroacoustic Monitoring of Cutting // Russian Engineering Research. 2010. № 9 (30). P. 939–943.
5. **Фадюшин И. Л., Маслов А. Р.** Влияние точности конусов на качество крепления концевго инструмента // Станки и инструмент. 1972. № 5. С. 40.
6. **Григорьев С. Н., Маслов А. Р., Кохомский М. В.** Инструментальная оснастка станков с ЧПУ: справочник / Под ред. А. Р. Маслова. — М.: Машиностроение, 2006. 544 с.

ИВАНИНА Ирина Владимировна –
кандидат технических наук, доцент МГТУ
им. Н. Э. Баумана

КРУШНЯК Наталия Тимофеевна –
кандидат технических наук, доцент МГТУ
им. Н. Э. Баумана

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

ЭТАЛОНЫ И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф.

Издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)»

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2018. – 402 с.
ISBN 978-5-94836-512-1

В книге рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений. Даны оценки погрешности и неопределенности первичных и рабочих эталонов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru

Организатор



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Наука
Образование
Экономика**

**ВУЗ
ПРОМ
ЭКСПО
2019**

**11—12 ДЕКАБРЯ 2019
ЭКСПОЦЕНТР | МОСКВА**

www.vuzpromexpo.ru

**VI ЕЖЕГОДНАЯ
НАЦИОНАЛЬНАЯ
ВЫСТАВКА**