



ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УСТАНОВКИ УКМ-1000 ДЛЯ ПОВЕРКИ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ СВЫШЕ 100 ММ

INVESTIGATION OF ERROR OF UKM-1000 COMPARATOR FOR CALIBRATION OF GAUGE BLOCKS OF LENGTH OVER 100 MM

УДК 621.923, ВАК 05.11.01, DOI: 10.22184/1993-8578.2017.78.7.66.70

С.Степанов^{1,2}, С.Тарасов^{1,2}, А.Петров^{1,2}, С.Степанов^{1,2} / stepanov56@mail.ru
S.Stepanov^{1,2}, S.Tarasov^{1,2}, A.Petrov^{1,2}, S.Stepanov^{1,2}

Проведено исследование точности российской установки УКМ-1000 для поверки концевых мер длины свыше 100 мм на основе международной методики Calibration of gauge block comparators. Показано, что установка УКМ-1000 по своим точностным характеристикам соответствует компараторам для поверки концевых мер длины 3-го разряда.

A study of the accuracy of the Russian UKM-1000 comparator for calibration of gauge blocks of length over 100 mm was made on the basis of the international method of calibration of gauge block comparators. It is shown that the UKM-1000 system, in its accuracy characteristics, corresponds to comparators for calibration of gauge blocks of the 3rd grade.

Концевые меры длины (КМД) предназначены для использования в качестве рабочих мер для регулировки и настройки показывающих измерительных приборов и для непосредственного измерения линейных размеров промышленных изделий, а также эталонных мер для передачи размера единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности и для поверки и градуировки измерительных приборов.

На машиностроительных предприятиях, где обрабатывают крупные детали, используются измерительные приборы с большими диапазонами измерений. Для поверки и настройки этих приборов применяют КМД свыше 100 мм. Стандартные наборы КМД № 8 и № 9 имеют в своем составе меры от 100 до 1000 мм. Для поверки (калибровки) таких мер необходимы соответствующие эталонные средства измерений.

Специальные приборы для поверки и калибровки концевых мер такого размера в настоящее

время не выпускаются, поэтому, как правило, используют универсальные горизонтальные приборы, например, компании Mahr (Германия). Однако, из-за своей универсальности и многофункциональности такие приборы стоят очень дорого. В России на предприятиях и в центрах стандартизации и метрологии (ЦСМ) применяются выпускавшиеся ранее и приспособленные для поверки больших концевых мер опτικο-механические машины типа ИЗМ, интерферометры типа ИКПГ и горизонтальные оптиметры типа ИКГ.

Инженерно-метрологический центр "Микро" совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого в рамках программы импортозамещения разработал и изготовил первую в России специализированную установку УКМ-1000 для поверки КМД свыше 100 мм. Установка представляет собой рабочее место поверителя и состоит из лабораторного стола, компаратора, вакуумной станции и компьютера. В настоящее время

¹ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого / Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.

² ИМЦ "Микро" / Mikro engineering and metrology center.

этот проект находится на стадии доводочных испытаний.

На КМД распространяется Государственная поверочная схема по ГОСТ Р 8.763-2011 (часть 3), в которой для рабочих эталонов установлены разряды с 1-го по 4-й. Точность эталонов по разрядам определяют значения δ -доверительных границ абсолютных погрешностей при доверительной вероятности $0,99 (\pm 3\sigma)$. Однако методики поверки КМД и других эталонов не предусматривают расчета σ . Кроме того, точность передачи размера эталона от разряда к разряду задается значением δ , определение которого в стандарте отсутствует.

В то же время, в западных странах поверочные схемы не применяются и определение возможностей и назначения средств измерений выполняется с помощью калибровки с расчетом значения ее неопределенности. Таким образом, нормирование и оценка точности аналогичных средств измерений в нашей стране и на западе различны.



Рис.1. Установка UKM-1000 для поверки концевых мер длины свыше 100 мм

Fig.1. UKM-1000 comparator for calibration of gauge blocks over 100 mm in length

The gauge blocks (GB) are intended to be used as working gauges for the adjustment and calibration of measuring equipment and for the direct measurement of the linear dimensions of industrial products, as well as reference measures for transferring a unit of length from a primary standard to gauge blocks of lower accuracy and for calibration and graduation of measuring instruments.

At machine-building enterprises, where large parts are machined, measuring instruments with large measuring ranges are used. For verification and adjustment of these devices, GB longer than 100 mm are used. Standard GB kits No. 8 and No. 9 include blocks of 100–1000 mm in length. To verify (calibrate) such gauge blocks, appropriate reference measurement tools are required.

Special instruments for checking and calibrating gauge blocks of this size are not currently available,

therefore, as a rule, universal horizontal instruments are used, for example, developed by Mahr (Germany). However, because of their versatility and multifunctionality, such devices are very expensive. In Russia, enterprises and centers for standardization and metrology use optical-mechanical machines, interferometers and horizontal optometers that were manufactured earlier and adapted for checking large gauge blocks.

The Mikro engineering and metrology center together with Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University within the program of import substitution developed and manufactured the first in Russia specialized UKM-1000 system for checking GB over 100 mm in length. The system is a workplace of the verifier and consists of a laboratory table, a comparator, a vacuum station and a computer. At present, this project is at the stage of testing.

The state verification scheme is applied to the GB in accordance with GOST R 8.763-2011 (Part 3), which sets for the working standards the grades from the 1st to the 4th. The values of the δ -confidence limits of the absolute errors with a confidence probability of $0,99 (\pm 3\sigma)$ determine the accuracy of the standards by the grades. However, the methods for checking GB and other standards do not provide for the calculation of σ . In addition, the accuracy of transferring the size of the standard from grade to grade is given by δ , which is not defined in the standard.

At the same time, verification schemes are not applied in the western countries and the determination of the capabilities and purpose of measuring instruments is performed by means of calibration with the calculation of the value of its uncertainty. Thus, the standardization and evaluation of the accuracy of similar measuring instruments

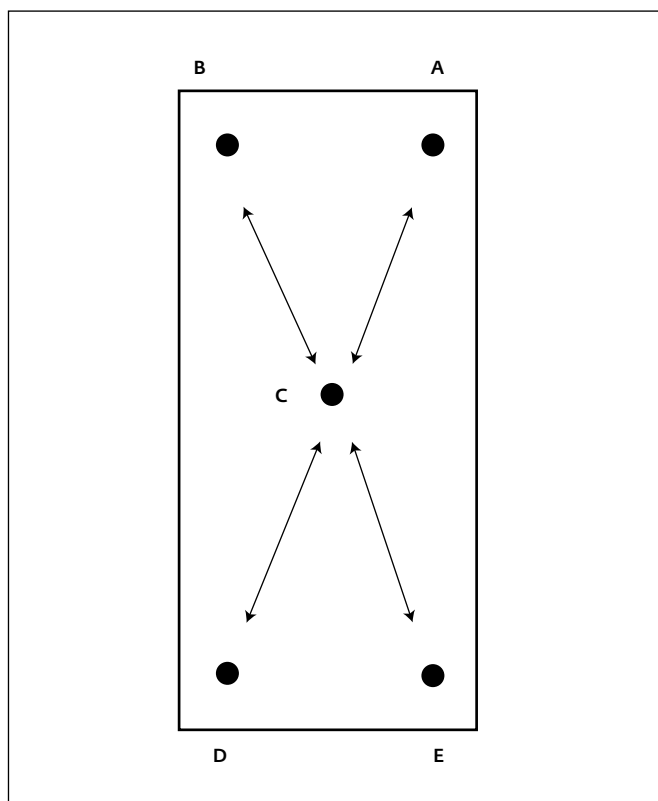


Рис. 2. Схема измерения погрешности при контроле плоскопараллельности

Fig. 2. Error measurement scheme for plane-parallelism control

В связи со сложившимся положением было проведено исследование точности установки УКМ-1000 с использованием международной методики

Таблица 1. Пары эталонных мер 1-го разряда

Table 1. Pairs of gauge blocks of 1st grade

| Номер пары Pair number | Номинальная длина, мм Nominal length, mm | |
|---------------------------|---|--------|
| | A | B |
| 1 | 1,0 | 1,01 |
| 2 | 1,0 | 1,04 |
| 3 | 100,0 | 100,0 |
| 4 | 1000,0 | 1000,0 |

поверки (калибровки) "Calibration of gauge block comparators", применяемой всеми ведущими производителями компараторов для аттестации концевых мер длины до 100 мм. Методика описывает процесс калибровки компаратора при измерении срединной длины и плоскопараллельности аттестуемой меры. Она предназначена для компараторов для калибровки методом сравнения, контактным методом и с применением двух преобразователей, контактирующих с мерой с противоположных сторон. Установка УКМ-1000 соответствует указанным условиям, но поверяемые меры от 100 до 1000 мм располагаются на столе компаратора горизонтально.

in our country and in the west are different.

In connection with the current situation, the accuracy of the UKM-1000 system was tested using the international calibration method "Calibration of gauge block comparators" used by all leading manufacturers of comparators for the certification of gauge blocks up to 100 mm in length. The method describes the calibration process of the comparator in measuring the central length and the plane-parallelity of the gauge being verified. It is intended for comparators for calibration by comparison, by contact method and using two modifiers in contact with

the gauge block from opposite sides. UKM-1000 corresponds to the specified conditions, but verified gauge blocks from 100 to 1000 mm long are located on the comparator table horizontally.

The developed calibration technique is based on the use of four pairs of gauge blocks of the 1st grade (Table 1).

Before the calibration, the system was prepared in accordance with GOST 8.336-78.

COMPARISON OF CENTRAL LENGTHS OF GAUGE BLOCKS

Gauge blocks of 1.0, 1.01 and 1.04 mm were stacked in pairs in a

special device, and blocks of 100.0 and 1000.0 mm were placed on the comparator table, aligned at the end and clamped with a clamp. Then, five comparative measurements of the central lengths of all four pairs were performed with adjusting to 0 using gauge block A. Then the series of measurements was repeated, but with adjusting to 0 using gauge block B. For each series of measurements, mean values and standard deviations were calculated.

MEASUREMENT OF PLANE-PARALLELISM

A 100.0 mm gauge block was fixed on the comparator table and a series

Таблица 2. Погрешность компарации при измерении срединной длины мер

Table 2. Comparison error when measuring central length of gauge block

| Номинальный размер меры, мм Nominal length of gauge block, mm | Действительный размер меры, мм Actual length of gauge block, mm | Разность действительных значений, мкм Difference of actual values, μm | Среднее измеренное значение, мкм Measured mean value, μm | Среднее квадратическое отклонение σ , мкм Standard deviation, σ , μm | Погрешность, мкм Error, μm |
|--|--|---|--|--|--|
| 1,0 | 1,00002 | 10,01 | 10,04 | 0,012 | 0,03 |
| 1,01 | 1,01003 | | | | |
| 1,0 | 1,00002 | 40,05 | 40,01 | 0,013 | -0,04 |
| 1,04 | 1,04007 | | | | |
| 100,0 | 100,00002 | 0,00 | 0,04 | 0,015 | 0,04 |
| 100,0 | 100,00002 | | | | |
| 1000,0 | 999,99982 | 0,24 | 0,17 | 0,014 | 0,07 |
| 1000,0 | 1000,00006 | | | | |

Разработанная методика поверки (калибровки) основана на применении четырех пар эталонных мер 1-го разряда (табл.1).

Перед выполнением калибровки установка прошла полную подготовку в соответствии с ГОСТ 8.336-78.

СРАВНЕНИЕ СРЕДИННЫХ ДЛИН МЕР

Меры 1,0; 1,01 и 1,04 мм укладывались попарно в специальное приспособление, а меры

100,0 и 1000,0 мм устанавливались на столик компаратора, выравнивались по торцу и закреплялись прижимом. Далее выполнялось по пять сравнительных измерений срединных длин всех четырех пар при настройке на 0 по мере А. Затем серия измерений повторялась, но на 0 настраивались по мере В. Для каждой серии измерений были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения.

of four measurements was taken from the central length of the block to the corners A, B, D, E according to the scheme shown in Fig.2. Measuring series were repeated after turning the gauge block to 180° in the vertical plane. For each of the eight series, the mean values and standard deviations were calculated.

EVALUATION OF RESULTS

The evaluation of the results depends on the accuracy of gauge blocks, which must be calibrated using a comparator. In the methodology, the acceptance criteria are considered from the condition that

the comparator is used to calibrate gauge blocks with extended measurement uncertainty $U = 0.1 + 1L$ for $k = 2$, which corresponds to the gauge blocks of the 3rd grade. Under these conditions, the following criteria are established:

- repeatability should not exceed 0.05 μm ;
- standard deviations should not exceed 0.03 μm ;
- deviations of the average values and the greatest deviations of the plane-parallelity from the values of the reference gauge blocks specified in the verification protocol should not exceed 0.05 μm .

The measurement protocol in accordance with the described calibration procedure is shown in Tables 2 and 3.

CONCLUSIONS

The conducted researches showed that the UKM-1000 system with its accuracy characteristics on the basis of calibration corresponds to comparators for verification of the gauge blocks of the 3rd grade.

The method of "Calibration of gauge block comparators", applied by all leading manufacturers of comparators for certification of gauge blocks, is more informative than previous methods. ■



Таблица 3. Погрешность компарации при измерении плоскопараллельности на мере 100 мм

Table 3. Comparison error when measuring plane-parallelism of 100 mm gauge block

| Измеряемая точка Measured point | Среднее значение из пяти измерений, мкм Mean of five measurements, μm | Вычисленное значение плоскопараллельности, мкм Calculated value of plane parallelism, μm | Действительное значение плоскопараллельности, мкм Actual value of plane parallelism, μm | Погрешность, мкм Error, μm | СКО, мкм Standard deviation, μm | Среднее значение из пяти измерений, мкм Mean of five measurements, μm | Вычисленное значение плоскопараллельности, мкм Calculated value of plane parallelism, μm | Действительное значение плоскопараллельности, мкм Actual value of plane parallelism, μm | Погрешность, мкм Error, μm | СКО, мкм Standard deviation, μm |
|------------------------------------|---|--|---|--|---|---|--|---|--|---|
| | До переверота меры Before turnover of gauge block | | | | | После переверота меры After turnover of gauge block | | | | |
| C | -0,03 | 0,05 | 0,08 | -0,03 | 0,013 | -0,05 | 0,06 | 0,08 | -0,02 | 0,012 |
| A | | | | | | | | | | |
| C | -0,01 | | | | 0,011 | -0,02 | | | | 0,014 |
| B | | | | | | | | | | |
| C | 0,01 | | | | 0,015 | 0,02 | | | | 0,013 |
| D | | | | | | | | | | |
| C | 0,02 | | | | 0,013 | 0,01 | | | | 0,012 |
| E | | | | | | | | | | |

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ

Мера 100,0 мм закреплялась на столике компаратора и проводились серии из четырех измерений от срединной длины меры в углы А, В, D, Е по схеме, показанной на рис.2. Измерительные серии были повторены после поворота меры на 180° в вертикальной плоскости. Для каждой из восьми серий были рассчитаны средние значения и стандартные отклонения.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Оценка результатов зависит от того, какие концевые меры по точности должны калиброваться с помощью компаратора. В методике рассмотрены критерии приемки из условия, что компаратор применяется для калибровки мер с расширенной неопределенностью измерений $U=0,1+1L$ при $k=2$, что $1=1$ соответствует концевым мерам 3-го разряда. При этих условиях установлены следующие критерии:

- повторяемость не должна превышать 0,05 мкм;

- стандартные отклонения не должны превышать 0,03 мкм;
- отклонения средних величин и наибольшие отклонения плоскопараллельности от значений эталонных мер, указанных в протоколе поверки, не должны превышать 0,05 мкм.

Протокол измерений в соответствии с описанной процедурой калибровки установки приведен в табл.2 и 3.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что установка УКМ-1000 по своим точностным характеристикам на основании калибровки соответствует компараторам для поверки концевых мер длины 3-го разряда.

Методика "Calibration of gauge block comparators", применяемая всеми ведущими производителями компараторов для аттестации концевых мер длины, является более информативной, чем применявшиеся ранее методики. ■