Таким образом показано, что введение в абразивно–эпоксидную композицию капролактама в количестве 8,0-13,5% при наличии пластификатора ПЭС-5 примерно 6 – 7 % от содержания эпоксидной смолы и при повышении температуры термообработки до 170⁰С оказало модифицирующее действие на смолу, что привело к снижению времени полимеризации и к существенному улучшению физико-механических свойств, в том числе к повышению прочности при изгибе и удельной ударной вязкости в 1,4 – 1,7 раз, увеличению твердости, снижению почти до нуля усадочных деформаций. За счет этого достигается, в свою очередь, повышение эксплуатационной стойкости и долговечности работы абразивных инструментов.

1. Гаршин, А.П. Абразивные материалы и инструменты. Технология производства: Учеб. пособие / А.П. Гаршин, С.М. Федотова / Под общ. ред. проф. А.П. Гаршина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 1010 с.
2. Ковальчук, Ю.М. Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Ю.М. Ковальчук. - М.: Машиностроение, 1984. – 206с.
3. Лавров, И.В. Физико-химические исследования абразивных материалов и инструмента / И.В. Лавров, И.Я. Ривлин, Т.П. Никитина // Сб. тр. ВНИИАШ. – Л., 1981. – С. 69 – 75.
4. Багайсков, Ю.С. Повышение эксплуатационных показателей изделий из абразивных композиционных материалов: (монография) / Ю. С. Багайсков, В. М. Шумячер ; Федеральное агентство по образованию, ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ. - Волгоград :ВолгГАСУ, ВИСТех (фил.) ВолгГАСУ, 2005. - 200с.
5. Браутман, Л. Композиционные материалы. Разрушение и усталость / Л. Браутман, Р. Крок . - М.: Мир, 1978. – 167с.
6. Островский, В.И. Теоретические основы процесса шлифования / В.И. Островский . - Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 234с.
7. Багайсков, Ю.С. Физико-химические свойства наполненных эпоксидных композиций, модифицированных капролактамом и кремнийорганической жидкостью / Ю.С. Багайсков, Г.С. Генина, В.Ф. Заев // Производство и переработка пластмасс и синтетических смол. Науч.-техн. реф. сб. – М.: НИИТЭХИМ, – 1980. – №1. – С. 20 – 22.

Воячек И.И., Симутин С.В.

Исследование точности измерения линейных размеров деталей на координатно-измерительной машине

*Пензенский государственный университет
(Россия, Пенза)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-41

idsp: ljjournal-05-2020-41

Аннотация

В статье рассматривается влияние удаленности места измерений от точки калибровки и угла наклона измерительной головки на точность и повторяемость измерений линейных размеров деталей при помощи координатно-измерительной машины Nikon metrology серии Altera. Приведены методика эксперимента и результаты исследования.

Ключевые слова: координатно-измерительная машина, КИМ, линейный размер измерение, точность, повторяемость.

Abstract

The article discusses the influence of the distance of the measurement site from the calibration point and the angle of the measuring head on the accuracy and repeatability of measurements of the linear dimensions of the parts using the Nikon metrology coordinate measuring machine Altera series. The experimental technique and research results are presented.

Keywords: coordinate measuring machine, CMM, linear dimension measurement, accuracy, repeatability.

При измерении линейных размеров деталей на координатно-измерительных машинах (далее - КИМ) погрешность измерения, как и у всех измерительных средств, имеет систематическую и случайную составляющие.

Появление систематической погрешности обусловлено рядом факторов: отклонением действительных параметров условий измерения от заданных значений, механическим износом деталей, входящим в сопряжение, старением электронных компонентов измерительного средства и др. Примером может служить износ измерительного наконечника в местах касания с деталью при измерении. Такую погрешность легко выявить и исключить из результатов измерений. Для этого необходимо ввести поправочный коэффициент или провести калибровку средства измерения.

Случайные погрешности, в отличие от систематических, не имеют закономерностей, связаны с действием случайных факторов и их невозможно исключить. Выявить значение случайной погрешности возможно после многократных измерений одной и той же физической величины (в данном случае одного и того же размера) одним средством измерения при одинаковых условиях.

В рассмотренных источниках [1, 2, 3, 4] подробно описаны процессы измерения, обработки результатов с учетом компенсации некоторых ошибок и погрешностей и оценки точности измерения конкретных деталей определёнными средствами измерения. Результаты не являются универсальными, и для каждого отдельного случая будут иметь место дополнительные погрешности, обусловленные особенностями геометрии конкретной детали и применяемых средств измерений. Для наиболее точного и достоверного измерения необходимо учитывать все факторы, влияющие на точность в каждом конкретном случае. Для этого необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

В данной работе приведены результаты исследования точности измерения линейных размеров на координатно-измерительной машине Nikon metrology серии Altera. Измерения проводились с использованием поверенной концевой меры длины (далее - КМД) с действительным размером $L_d = 100,0035$ мм по паспорту, в трех положениях измерительной головки КИМ (0° , 45° и 90°) без поворота по второй оси.

Исследовалась зависимость результата измерений линейного размера от его расположения по отношению к точке калибровки КИМ. Процесс калибровки производился в начальной точке по осям X и Y ($l = 0$). Проводились измерения КМД, после чего мера смещалась вдоль оси с шагом в $\Delta l = 250$ мкм относительно центра КМД, и процесс измерения повторялся. При расположении КМД в рабочей зоне КИМ учитывался принцип Аббе, КМД располагалась параллельно оси измерения. Измерение длины КМД проводилось путем построения двух плоскостей по трем точкам [5] и нахождения среднего значения расстояния между ними. Для каждого положения КМД в рабочей зоне КИМ и каждого угла поворота измерительной головки КИМ проводилось по 100 измерений в автоматическом режиме.

На рисунке 1 представлено статистическое распределение измеренных размеров КМД в точке калибровки. Предварительно, без дальнейшей обработки статистических данных, можно заключить, что данное распределение близко к нормальному.

Рисунок 1 – Статистическое распределение полученных результатов измерения в точке калибровки.

Результаты исследований представлены на рисунках 2 и 3 в виде диапазонов рассеивания между максимальным и минимальным значением измерений для каждой позиции КМД. Зеленая линия соответствует паспортному значению длины КМД.

Паспортная объемная точность (максимальная погрешность между любыми двумя точками в любой плоскости на расстоянии в пределах измеряемого объема) КИМ Nikon metrology серии Altera определяется по формуле

$$\Sigma\delta = 1,8 + L/400 = 1,8 + 100/400 = 2,05 \text{ мкм} = 0,00205 \text{ мм},$$

где L – номинальное значение измеряемого размера.

Рисунок 2 - Зависимость диапазона рассеивания значений измеренной длины КМД от расстояния вдоль оси X при положении измерительной головки: а – 0°, б – 45°, в – 90°.

Рисунок 3 - Зависимость диапазона рассеивания значений измеренной длины КМД от расстояния вдоль оси Y при положении измерительной головки: а – 0°, б – 45°, в – 90°.

При оценке точности измерения рассматриваются среднеарифметическая и максимальная погрешность измерения, результаты расчета которых представлены в таблице 1. Среднеарифметическая погрешность определяется по формуле

$$\delta_{\text{ср}} = \Sigma |L_{\text{д}} - L_i| / n,$$

где $L_{\text{д}}$ – действительное (паспортное) значение размера КМД,

L_i – отдельное измерение,

n – количество измерений.

Максимальная погрешность определяется по формуле

$$\delta_{\text{max}} = |L_{\text{д}} - L_{\text{max}}|,$$

где L_{max} – отдельное измерение, максимально удаленное от действительного значения КМД.

Таблица 1.

Среднеарифметическая и максимальная погрешность измерений

l, мм	Ось X						Ось Y					
	0°		45°		90°		0°		45°		90°	
	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм	$\delta_{\text{ср.}}$ мкм	$\delta_{\text{max.}}$ мкм
0	0,33	1,1	0,37	0,7	0,36	0,9	0,1	0,9	0,27	0,7	0,3	0,9
+250	0,36	0,9	0,8	1,3	0,38	0,8	0,58	1,3	0,61	0,9	0,35	1,1
+500	0,41	1,1	1,48	2,2	0,67	1,3	0,78	1,5	1,16	1,9	0,61	1,2
+750	0,44	1,0	1,51	2,3	0,86	1,5	-	-	-	-	-	-
+1000	0,62	1,3	1,64	2,3	0,9	1,6	-	-	-	-	-	-
+1250	1,0	1,7	1,8	2,5	1,17	2,0	-	-	-	-	-	-

Учитывая паспортную погрешность (точность) КИМ можно сделать следующие выводы:

- 1 в месте калибровки при любом положении измерительной головки КИМ паспортное значение длины КМД покрывается диапазоном рассеивания результатов измерений, а их среднеарифметическое отклонение (математическое ожидание) от паспортного значения не превышает $\delta_{\text{ср}} = 0,37$ мкм;
- 2 при удалении от точки калибровки значения результатов измерений длины КМД смещаются в сторону увеличения, среднеарифметическое отклонение возрастает до $\delta_{\text{ср}} = 1,8$ мкм при удалении по оси X на 1250 мм и положении измерительной головки КИМ в 45°, паспортное значение длины КМД не покрывается диапазоном рассеивания результатов измерений;
- 3 максимальная погрешность измерений наблюдается вдоль оси X при позиции измерительной головки КИМ в 45° и удалении от точки калибровки $l \geq 500$ мм, появляются отдельные измерения, не укладывающиеся в паспортную точность КИМ. Значения $\delta_{\text{max}} \geq 2,2$ мкм превышают допустимую погрешность измерения КИМ, которая для КМД длиной 100 мм равна $\Sigma\delta = 2,05$ мкм. В этом случае нужно вносить поправку в результат измерения;
- 4 для всех измерений разность между максимальным и минимальным значением длины (размах) не превысила паспортное значение повторяемости (сходимости) измерений, равное 1,7 мкм.

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что для повышения достоверности результатов измерения необходимо провести экспериментальные исследования и в дальнейшем учитывать возможности и особенности состояния конкретной координатно-измерительной машины.

1. Möhring H.-C., Gümmer O., Fischer R. Active error compensation in contour-controlled grinding // CIRP Annals- Manufacturing Technology. 2011. Vol. 60, Iss. 1. P. 429–432.
2. Bas G., Stoevb L., Durakbasa N. M. Assessment of the Production Quality in Machining by Integrating a System of High Precision Measurement // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 1616–1624.
3. Denkena B., Gümmer O. Active Tailstock for Precise Alignment of Precision Forged Crankshafts during Grinding // Procedia CIRP. 2013. Vol. 12. P. 121–126.
4. Colledani M., Tolio T., Fischer A., Iung B., Lanza G., Schmitt R., Váncza J. Design and management of manufacturing systems for production quality // CIRP Annals - Manufacturing Technology. 2014. Vol. 63, Iss. 2. P. 773–796.
5. Суслин В.П. Джунковский.А.В., Исследование способов измерения концевых мер длины при калибровке координатно-измерительных машин // «Прикладная и законодательная метрология», 2006, №5(87), с. 54-57.