

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ УДЕЛЬНОГО ВЕСА УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Алисин В.В.

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, г.Москва

Ключевые слова: погрешности измерений, удельный вес, углерод-углеродный композит, испытания материалов на износ.

Аннотация. Работа посвящена определению удельного веса углерод-углеродного композиционного материала применительно к задаче повышения достоверности трибологических испытаний по определению весовым методом измерений износа образцов. Применен метод статистической обработки результатов измерений. Установлена погрешность определения удельного веса материала.

ESTIMATION OF THE MEASUREMENT ERROR OF THE SPECIFIC WEIGHT OF A CARBON-CARBON COMPOSITE MATERIAL

Alisin V. V.

*Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keyword: Measurement errors, specific gravity, carbon-carbon composite, wear testing of materials

Abstract. The work is devoted to determining the specific weight of carbon-carbon composite material in relation to the problem of increasing the reliability of tribological tests for determining the weight method of measuring the wear of samples. The method of statistical processing of measurement results was applied. Errors in determining the specific weight of the material are established.

Испытания по определению износостойкости композиционных материалов для тормозных устройств самолетов проводятся на машинах трения по оценки потери веса в процессе эксперимента [1]. Удельный вес композиционных материалов может существенно отличаться в различных партиях материала, поэтому требует дополнительных испытаний, особенно при проведении контрольных испытаний. Любое измерение всегда производится с погрешностью, которая требует оценки [2, 3]. Методы обработки результатов измерений разнообразны [4, 5]. Для оценки погрешностей соответствующих результатов можно использовать известные и достаточно простые формулы для оценок абсолютной и относительной погрешностей [6]. Для метрологического обеспечения точности измерений показателей износа нового углерод-углеродного композиционного материала необходимо использовать математический аппарат статистической обработки результатов измерений удельного веса материала.

Цель работы – оценить конечный результат измерений удельного веса с учетом их погрешностей

Объект испытаний. Образцы фрикционного углерод-углеродного материала типа ТЕРМАР, выполненный в виде втулки, номинальные размеры составляют 28x20x15 мм. Образец для испытания имеет правильную

геометрическую форму в виде втулки, имеет объем не менее 4 см^3 и массу не более 10 г, что соответствует требованиям п.2.2 ГОСТ 15139-69.

Приборы и методика измерений. Измерение линейных размеров проводилось штангенциркулем.

Измерение веса на лабораторных аналитических весах ВЛР-200. Метод определения плотности: в соответствии с ГОСТ 15139-69. Методика измерений: по п.2 ГОСТ 15139-69. Перечень средств измерений приведен таблице 1.

Табл. 1. Средства измерений

№ п/п	Средство измерений	Производитель, год выпуска, заводской номер	Дата последней поверки и/или калибровки и наименование службы, выполнившей поверку и/или калибровку
1	Штангенциркуль с цифровым отсчетным устройством ШЦЦ-1-200-0,01	Россия, ОАО «Калибр», 02.03.2009г. Н 29730	02.03.2009г., ОАО «Калибр», ОТК №3, погрешность не более 0,03мм
2	Лабораторные аналитические весы ВЛР-200, ГОСТ 24104-88	Россия, Зав. №164 88-1	05.06.2009 г., ИМАШ РАН лаб. №70. Точность измерения – 0,5 мг. Предел измерений – 200 мг.

Результаты испытаний

1) Точность измерения линейных размеров: высота образца – 15,04; 15,05; 15,04; 15,03; 14,98 мм (5 замеров).

Среднее $\{x_1\} = 15,028 \text{ мм}$;

Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения $S_n = 0,0277 \text{ мм}$.

Средняя квадратичная погрешность среднего арифметического $S = 0,012 \text{ мм}$; для принятой вероятности $P = 0,95$ коэффициент Стьюдента 2,8 (при $n=5$); случайная погрешность $\Delta_{сл} = 0,035 \text{ мм}$.

Суммарная погрешность отдельного измерения $\Delta_x = 0,046 \text{ мм}$.

Относительная погрешность отдельного измерения линейных размеров – 0,3%.

2) Точность измерения массы образца – 8,215 35; 8,21520; 8,21505; 8,21510; 8,21515 г. (5 замеров).

Среднее $\{x_1\} = 8,21517 \text{ г}$.

Средняя квадратичная погрешность отдельного измерения $S_n = 0,00012 \text{ г}$.

Средняя квадратичная погрешность среднего арифметического $S = 0,00005 \text{ г}$.; для принятой вероятности $P = 0,95$ коэффициент Стьюдента 2,8 (при $n=5$); случайная погрешность $\Delta_{сл} = 0,00014 \text{ г}$.

Суммарная погрешность отдельного измерения массы $\Delta x_5 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ г}$.

Относительная погрешность отдельного измерения массы – 0,06%

Среднее арифметическое параметров трех параллельных измерений приведено в таблице 2.

Табл. 2. Результаты измерений

№	$x_1 + \Delta x_1$ (мм)	$x_2 + \Delta x_2$ (мм)	$x_3 + \Delta x_3$ (мм)	$x_4 + \Delta x_4$ (см ³)	$x_5 + \Delta x_5$ (г)	$x_6 + \Delta x_6$ (г/см ³)
1	28,02 ±0,046	19,86 ±0,046	15,04 ±0,046	4,615 ±0,066	8,2154±5·10 ⁻⁴	1,7802±0,026
2	27,99±0,046	19,82 ±0,046	15,04 ±0,046	4,614±0,066	8,2152±5·10 ⁻⁴	1,7805±0,026
3	28,03 ±0,046	19,87 ±0,046	15,03 ±0,046	4,614±0,066	8,2151±5·10 ⁻⁴	1,7805±0,026
среднее						1,7804±0,026

Примечание: размерность единиц принята в соответствии с п.2.3 ГОСТ 15139-69.

Обозначения, принятые в таблице:

x_1 – наружный диаметр образца;

x_2 – внутренний диаметр образца;

x_3 – высота образца;

x_4 – объем образца, определен по формуле $x_4 = \pi \cdot (x_1^2 - x_2^2) \cdot x_3$. (1)

x_5 – масса образца;

x_6 – плотность образца, определенная по формуле $x_6 = x_5 / x_4$. (2)

Если дана функция нескольких переменных $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, то максимально возможное значение абсолютной погрешности выражается арифметической суммой всех частных погрешностей:

$$\Delta y = \pm \left[|\Delta x_1| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_1} \right| + |\Delta x_2| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_2} \right| + |\Delta x_n| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_n} \right| \right].$$

Из формулы (1):

$$\Delta x_4 = \pm \left[|\Delta x_1| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_1} \right| + |\Delta x_2| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_2} \right| + |\Delta x_3| \cdot \left| \frac{\partial y}{\partial x_3} \right| \right], \quad (3)$$

$$\Delta x_4 = \pm \left(\left| \Delta x_1 \right| \cdot \frac{\pi}{2} \cdot x_1 \cdot x_3 + \left| \Delta x_2 \right| \cdot \left| -\frac{\pi}{2} \cdot x_2 \cdot x_3 \right| + \left| \Delta x_3 \right| \cdot \left| \frac{\pi}{4} (x_1^2 - x_2^2) \right| \right).$$

Т.к. в нашем случае $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x$, то

$$\Delta x_4 = \pm \Delta x \left(\frac{\pi}{2} \cdot x_1 \cdot x_3 + \frac{\pi}{2} \cdot x_2 \cdot x_3 + \left| \frac{\pi}{4} \cdot (x_1^2 - x_2^2) \right| \right). \quad (4)$$

Аналогично рассуждая, получим формулу для абсолютной погрешности плотности:

$$\Delta x_6 = \pm (x_4 \cdot \Delta x_5 + x_5 \cdot \Delta x_4) / x_4^2. \quad (5)$$

Формула для расчета относительной погрешности объема:

$$\Delta x_4 / x_4 = \pm \left[\Delta x_1 \cdot 2 \cdot x_1 / (x_1^2 - x_2^2) + \Delta x_2 \cdot 2 \cdot x_2 / (x_1^2 - x_2^2) + \Delta x_3 \cdot \frac{1}{x_3} \right] \quad (6)$$

(т.к. $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x_3 = \Delta x$, то формула (6) значительно упрощается).

Формула для расчета относительной погрешности плотности:

$$\Delta x_6 / x_6 = \pm (\Delta x_5 / x_5 + \Delta x_4 / x_4).$$

Выводы

Экспериментально установлено, что плотность испытуемого образца составляет: $\rho=1,78\pm 0,026 \text{ г/см}^3$.

Относительная погрешность для объема составляет: $\Delta x_4/x_4=0,013$.
Относительная погрешность для плотности: $\Delta x_6/x_6=0,014$.

Расхождения между тремя параллельными измерениями менее $0,003 \text{ г/см}^3$, что соответствует требованиям п.2.3 ГОСТ 15139-69 (допускается не более $0,005 \text{ г/см}^3$).

Список литературы

1. Оценка фрикционно-износных характеристик отечественных углеродных фрикционных композиционных материалов для нагруженных тормозов самолетов / А.В. Чичинадзе, А.Ю. Албагачиев, В.Д. Кожемякина, С.С. Коконин, А.В. Суворов, В.В. Кулаков // Трение и износ. 2009. № 4. С. 359-371.
2. Еремин Е.В. Оценка погрешности результатов косвенных измерений некоторых величин // Измерительная техника. 2020. №1. С. 18-24.
3. Rabinovich S.G., Measurement errors and uncertainties: theory and practice. New York: Springer-Verlag, 2005. 308 p.
4. Сирая Т.Н. Методы обработки данных при измерениях и метрологические модели // Измерительная техника. 2018. № 1. С. 9-14.
5. Миронов Э.Г., Бессонов Н.П. Метрология и технические измерения. М.: КНОРУС, 2015. 422 с.
6. Еремин Е.В. О корректности представления значений величин и показателей точности результатов косвенных измерений // Приборы. 2019. № 9. С. 46-54.

Сведения об авторе:

Алисин Валерий Васильевич – к.т.н., в.н.с., ИМАШ РАН, г.Москва.