

Ю. А. КАРАКУЛЕВ

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СООСНОСТИ ОТВЕРСТИЙ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ МАШИН

Представлен статистический анализ результатов, получаемых при контроле соосности отверстий в корпусных деталях машин разными методами. Показано, что точность результатов измерений отклонений от соосности зависит от задания базы измерений — общей оси отверстий.

Ключевые слова: ось отверстия, измерительная база, статистический анализ.

Введение. Одним из важных параметров качества корпусных деталей машин является соосность выполненных в них отверстий, поскольку этот параметр влияет на точность сборки сопряжений и пространственное положение деталей и узлов в корпусе. Наличие недопустимых отклонений от соосности затрудняет сборку и повышает износ деталей.

В соответствии с ГОСТ 24642-81 отклонение от соосности отверстий — есть расстояние между осью проверяемого отверстия и общей осью. Эффективность контроля данного параметра зависит от положения общей (базовой) оси. В практических измерениях общую ось определяют двумя методами: 1) как прямую, которая проходит через центры крайних отверстий; 2) как ось воображаемого цилиндра, в который вписаны оси всех измеренных отверстий.

Для оценки указанных методов была выбрана характерная корпусная деталь машин — блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания. В настоящей статье рассмотрены результаты теоретических исследований и натуральных измерений отклонения от соосности отверстий под коренные подшипники блока цилиндров (далее — отверстия).

Описание принципа измерений и анализ полученных результатов. В ходе экспериментов измерялись отверстия блоков цилиндров двигателей Ярославского моторного завода — по пять отверстий диаметром 116 мм. Измерения проводились визирным методом с помощью оптических средств, достаточно подробно описанных в работе [1]. Количество подлежащих измерению блоков цилиндров определялось исходя из требуемой точности $\varepsilon = 0,01$ мм и надежности (доверительной вероятности $\alpha = 0,99$) статистических оценок характеристик распределения исследуемых величин. Согласно расчету необходимый размер выборки составил 62 блока цилиндров. Было измерено 70 блоков цилиндров. После получения 350 значений проекций осей отверстий на две взаимно-перпендикулярные плоскости определялось отклонение от соосности относительно разных баз измерений.

Первый метод. В качестве общей оси отверстий принимается прямая a (рис. 1), которая проводится через центры крайних 1-го и 5-го отверстий. Использование этой базы упрощает технологию измерений и обработку результатов. Отклонение от соосности для одной проекции (например, y) определяется выражением

$$\Delta = y_1 + (y_5 - y_1)l_i/l_5 - y_i, \quad (1)$$

где y_1, y_5, y_i — отсчеты для 1-го, 5-го (последнего) и i -го (проверяемого) отверстия; l_5, l_i — расстояние соответственно между крайними 1-м и 5-м отверстиями, между 1-м и i -м отверстиями.

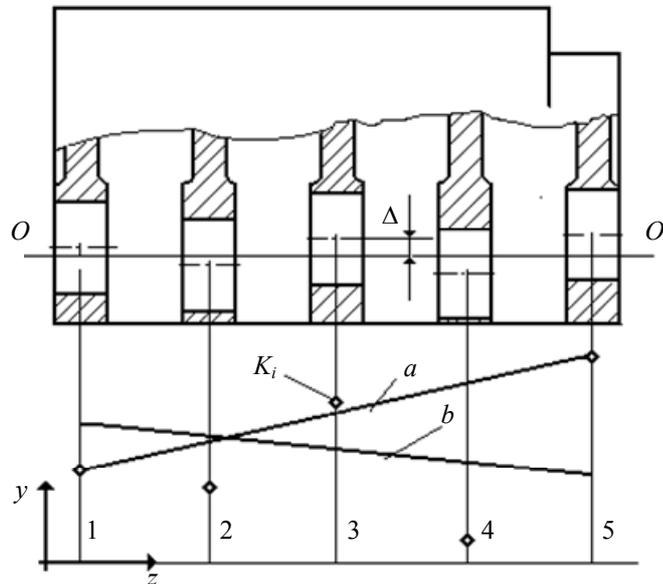


Рис. 1

В данном случае наблюдается смещение и наклон общей оси относительно линии визирования OO' , от которой производится отсчет положения осей отверстий. Смещение прямой a не влияет на измерение отклонения от соосности, поскольку эта погрешность компенсируется при определении величины отклонения через разность одноименных координат. Наклон прямой a вызывает методическую погрешность δ определения отклонения от соосности, при этом погрешность увеличивается пропорционально углу наклона β , образованному общей осью и линией визирования OO' :

$$\delta = y_i (1 - \cos\beta). \tag{2}$$

Расчет по формуле (2) с учетом допустимого значения отклонения от соосности отверстий $T = 0,025$ мм показал, что относительная величина погрешности составляет 0,023 %, т.е. практически равна нулю, однако в действительности она значительно больше. Согласно экспериментальным данным наибольшая разность отсчетов между первым и последним отверстием составляет 0,48 мм, а в среднем — 0,16 мм, при этом методическая погрешность соответственно равна 0,44 и 0,15 %.

Результаты экспериментального определения отклонений от соосности отверстий с выполнением расчетов по формуле (1) показаны на рис. 2. Как видно из графика, распределение плотности вероятности (P) измеренных значений отклонения от соосности (кривая a) подчиняется закону распределения Максвелла (эксцентриситета):

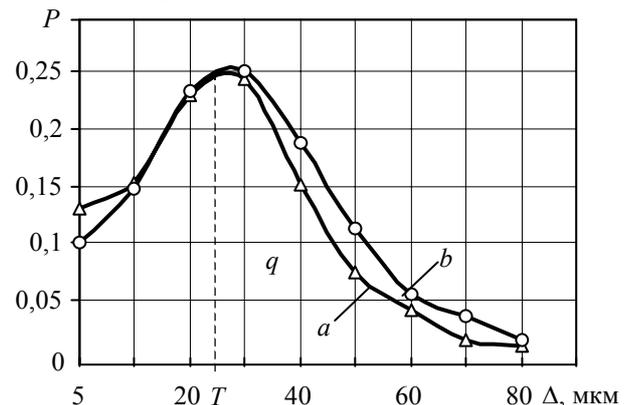


Рис. 2

$$\varphi(\Delta) = \frac{\Delta}{2\sigma_1^2} \exp\left\{-\Delta^2 / (2\sigma_1^2)\right\},$$

где $\sigma_1 = 27,3$ — среднее квадратическое отклонение (СКО) измеренных значений Δ .

Это также подтверждается аналитически двумя способами: 1) путем вычисления вероятности критерия согласия $Q(\chi^2) = 0,14$, что больше принятого уровня значимости, равного 0,05; 2) путем вычисления отношения среднего квадратического отклонения и математического ожидания: $\sigma_1/M=27,3/51,9=0,53$.

Для определения значимости найденных статистических характеристик закона распределения (среднего квадратического отклонения S , математического ожидания \bar{A} , коэффициента вариации V) рассчитаны их погрешности: $\sigma_S = 1,4$ мкм, $\sigma_{\bar{A}} = 4,0$ мкм, $\sigma_V = 4,5$ %, которые подтверждают достаточную точность параметров распределения.

Полученные данные позволяют прогнозировать точность результатов измерения рассматриваемого параметра для партии блоков цилиндров, поступающих на сборку. Точность партии блоков определялась по вероятной доле брака q , для чего были вычислены коэффициенты точности R и смещения L ($R=T/6\sigma_1$; $L=(\bar{A}-A_0)/T$, где A_0 — координата середины поля допуска). Интерполяцией полученных значений R и L по таблице значений интегрального закона нормального распределения [2] было установлено, что $q = 0,61$. Это означает, что почти две трети блоков цилиндров явно не отвечают техническим условиям.

Второй метод обработки результатов измерений отклонения от соосности отверстий основан на использовании выравнивающей прямой b (см. рис. 1) в качестве базы измерений. Чтобы найти отклонение от соосности i -го отверстия относительно общей оси, необходимо вычислить расстояние от точки K_i , принадлежащей оси i -го отверстия, до прямой b :

$$\Delta = \sqrt{(x_b - x_i + mt)^2 + (y_b - y_i + nt)^2 + (pt - z_i)^2}, \quad (3)$$

где x_b, y_b, x_i, y_i, z_i — координаты некоторой точки, принадлежащей прямой b ; m, n, p — координаты направляющего вектора E этой прямой; t — параметр, учитывающий относительный наклон оси.

Формула (3) позволяет получить абсолютное значение отклонения от соосности отверстий. В соответствии с этой формулой была проведена обработка данных измерения значения Δ . Результаты обработки приведены на рис. 2, кривая b . Характер кривой и рассчитанные статистические параметры показывают, что распределение плотности вероятности значений Δ , так же как и в первом случае, подчиняется закону Максвелла. При этом СКО $\sigma_2 = 16,0$ мкм. Аналогично первому методу была определена вероятная доля брака q , равная в данном случае 0,53. Это означает, что для половины партии блоков цилиндров значения отклонения от соосности превышают допустимые.

Сравнительный анализ результатов измерений позволил установить, что доля дефектных по параметру „соосность отверстий“ блоков цилиндров, определенная с использованием первого метода, завышена на 8,0 % относительно вычисленной по второму методу. Это означает, что для типового ремонтного производства двигателей внутреннего сгорания (2,5 тыс. ремонтов в год) правильно организованный контроль позволяет сэкономить затраты на восстановление соосности у 200 блоков цилиндров.

Заключение. Использование общей оси как прямой, проходящей через центры крайних отверстий, в качестве базы для контроля соосности отверстий, несмотря на несложность изготовления измерительных средств (скалки, фальшвалы с оправками) и относительную простоту вычислительных операций, приводит к методической погрешности, которая искажает результаты измерений (более 0,4 % в проведенном эксперименте). При этом методе контроля количество дефектных по данному параметру корпусных деталей оказывается завышенным.

Определение отклонения от соосности относительно общей оси — прямой, аппроксимирующей данные измерений всех контролируемых отверстий, — не сопровождается методической погрешностью и дает объективную оценку состояния корпусных деталей по данному параметру. Возможность применения такого метода контроля основана на использовании бесконтактных средств с оптическим преобразованием измеряемой величины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каракулев Ю. А. Измерение отклонения от соосности деталей в регулировочных клапанах турбин // Изв. вузов. Приборостроение. 2007. Т. 50, № 2. С. 27—30.
2. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986. 544 с.

Сведения об авторе

Юрий Александрович Каракулев

— канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра компьютеризации и проектирования оптических приборов; E-mail: yura1946@yandex.ru

Рекомендована кафедрой
компьютеризации и проектирования
оптических приборов

Поступила в редакцию
26.04.11 г.