



# Влияние отклонений формы цилиндрической поверхности токарно-винторезного станка на точность диагностирования его технического состояния



**О.В. Аникеева**

*к.т.н., доцент  
кафедры «Управление  
качеством,  
метрология  
и сертификация»  
ФГБОУ ВО ЮЗГУ;  
г. Курск*

В течение нескольких десятков лет в российском машиностроении очень актуальна проблема несоответствия выпускаемой продукции техническим требованиям. Основной причиной этого является эксплуатация промышленными предприятиями морально и физически устаревшего технологического оборудования: необходимы большие капиталовложения в модернизацию или в ремонт и техническое обслуживание. В связи с ограниченностью средств большинство предприятий РФ выбирают второй вариант.

Известно, что точность обработки деталей на металлорежущих станках (МРС) в значительной мере обусловлена геометрическими погрешностями этих станков [1]. Т.е. обеспечение точности МРС поддерживает производство качественной продукции при снижении затрат, связанных с выпуском брака. В свою очередь основной успешной задачей и целью обеспечения точности станка является постановка диагноза его состояния – определения значений параметров геометрической точности станка с минимальной погрешностью.

Передовой опыт промышленных предприятий зарубежных стран показывает тенденцию к развитию прогрессивных методов диагностирования технического состояния МРС: измерение вибрации роторных машин, виброускорения, спектра огибающей высокочастотной вибрации; оценка согласованности работы приводов; измерение температуры – контактное и бесконтактное; визуальный контроль; определение состояния смазочного масла, содержания в нем воды и механических примесей и др. [2]. Несмотря на то, что многие методы диагностирования технического состояния оборудования, нашедшие применение за рубежом, являются коммерческой тайной, можно выявить одну общую черту: все новые методы используются в рамках системы ремонта по фактическому техническому состоянию [3].

Современные отечественные предприятия продолжают использовать систему планово-предупредительного ремонта (ППР), получившую начало в 1966 году. Главной проблемой здесь является то, что работоспособность физически устаревших станков система ППР уже не в силах обеспечить, т.к. велика вероятность возникновения необходимости проведения внепланового ремонта оборудования, либо вероятность отправки на ремонт оборудования, не израсходовавшего свой ресурс точности.

В работе [4] предложен метод функциональной диагностики МРС, с помощью которого возможно с минимальными затратами решить не только задачу диагностирования состояния станка, но и задачу прогнозирования его состояния (рис. 1).

В работе [5] подробно описан метод диагностирования МРС по их фактическому техническому состоянию, а также алгоритм прогнозирования этого состояния, позволяющие принять решение о сроках проведения ремонта станков и о видах ремонта для формирования стратегии ремонта.

Метод функциональной диагностики геометрической точности МРС основан на анализе результатов измерений параметров геометрической точности представленной в работе [4] тестовой детали, обработанной на диагностируемом станке (рис. 2). Результатом диагностирования (а также дальнейшего прогнозирования) являются численные значения



Рис. 1. Схема функциональной диагностики МРС [5]

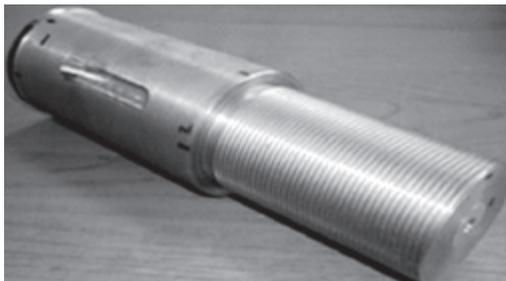


Рис. 2. Тестовая деталь для диагностики токарно-винторезного и вертикально-фрезерного станков

показателей геометрической точности, определенные с помощью вариационного метода расчета точности станков [6]. При этом в работе [4] отмечается, что доля погрешностей параметров геометрической точности станков от общей погрешности обработки составляет 30...50%.

Особое внимание следует уделить вопросу влияния отклонений формы обработанной на станке поверхности на точность диагностирования его технического состояния. В связи с широким распространением токарно-винторезных станков в настоящей работе рассматривается влияние отклонений формы обработанной цилиндрической поверхности на точность диагностирования состояния именно токарного станка. Однако все предложенные и используемые методы распространяются на все типы и виды МРС.

Моделирование рассматриваемого влияния проводилось в программной среде *Maple*.

Уравнения цилиндрической поверхности с 3-мя гармониками для 2-х сечений имеют вид:

$$G_1 = 25 + 12 \cos(f) + 12 \sin(f) + 10 \cos(2f) + 10 \sin(2f) + 8 \cos(3f) + 8 \sin(3f), \quad (1)$$

где  $f$  – угловой параметр, характеризующий поворот вокруг оси шпинделя станка;

$$G_2 = 20 + 11 \cos(f) + 11 \sin(f) + 10 \cos(2f) + 10 \sin(2f) + 9 \cos(3f) + 9 \sin(3f). \quad (2)$$

Тогда, после разложения уравнений поверхности (1) и (2) по трем гармоникам, вектора измеренных значений погрешностей обработки цилиндрической поверхности  $\Delta 1$  в сечении 1 и  $\Delta 2$  в сечении 2 (в миллиметрах) имеют вид:

$$\Delta 1 = \{55,00; 37,05; 23,73; 15,00; 20,27; -1,05\};$$

$$\Delta 2 = \{50,00; 23,73; 19,37; 10,00; 17,63; -6,69\}.$$

При этом вектор геометрических погрешностей станка  $\delta q_1$  имеет вид:

$$\delta q_1 = \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \beta_1 \\ \sum_{i=1}^3 \delta x_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12,0000000000 \\ 12,00000002000 \\ 0,01000000016 \\ -0,01000000000 \\ -0,05000000000 \\ 25,00000000000 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

где  $\alpha_0$  – малый угол поворота вокруг оси  $OX$  обрабатываемой детали (со шпинделем);  $\beta_{0,1}$  – малые углы поворота вокруг оси  $OY$  обрабатываемой детали (со шпинделем) и станины;  $\delta x_{0...3}$  – малые абсолютные смещения вдоль оси  $OX$  обрабатываемой детали (со шпинделем), станины, продольного суппорта и поперечного суппорта соответственно;  $\delta y_0$  – малое абсолютное смещение вдоль оси  $OY$  обрабатываемой детали (со шпинделем).

После фильтрации 3-ей гармоники уравнения цилиндрической поверхности (в двух сечениях) имеют вид:

$$G_1^f = 25 + 12 \cos(f) + 12,00000002 \sin(f) + 10 \cos(2f) + 10,00000001 \sin(2f), \quad (4)$$

$$G_2^f = 20 + 11 \cos(f) + 11 \sin(f) + 10 \cos(2f) + 10,00000001 \sin(2f). \quad (5)$$

При этом векторы измеренных значений погрешностей обработки цилиндрической поверхности  $\Delta'1$  в сечении 1 и  $\Delta'2$  в сечении 2 (в миллиметрах) имеют вид:

$$\Delta'1 = \{47,00; 45,05; 15,73; 23,00; 12,27; 6,95\};$$

$$\Delta'2 = \{41,00; 38,69; 10,37; 19,00; 8,63; 2,31\},$$

а вектор геометрических погрешностей станка  $\delta q_2$  имеет вид:

$$\delta q_2 = \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \beta_1 \\ \sum_{i=1}^3 \delta x_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12,00000000000 \\ 12,000000040000 \\ 0,010000000420 \\ -0,00999999933 \\ -0,04999999950 \\ 24,99999990000 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

При фильтрации второй гармоники, при полученных векторах измеренных значений погрешностей обработки цилиндрической поверхности  $\Delta''1 = \Delta 1$  в сечении 1 и  $\Delta''2 = \Delta 2$  в сечении 2, вектор геометрических погрешностей станка  $\delta q_3$  имеет вид:



$$\delta q3 = \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \beta_1 \\ \sum_{i=1}^3 \delta x_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12,0000000000 \\ 12,00000001000 \\ 0,01000000003 \\ -0,01000000002 \\ -0,04999999996 \\ 25,0000000000 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

При фильтрации второй гармоники, при полученных векторах измеренных значений погрешностей обработки цилиндрической поверхности  $\Delta'''1 = \Delta''1$  в сечении 1 и  $\Delta'''2 = \Delta''2$  в сечении 2, вектор геометрических погрешностей станка  $\delta q4$  имеет вид:

$$\delta q4 = \begin{pmatrix} \delta x_0 \\ \delta y_0 \\ \alpha_0 \\ \beta_0 \\ \beta_1 \\ \sum_{i=1}^3 \delta x_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12,0000000000 \\ 12,00000003000 \\ 0,01000000021 \\ -0,01000000003 \\ -0,04999999997 \\ 25,0000000000 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Сравнение значений погрешностей векторов  $\delta q1 \dots \delta q4$  позволяет сделать вывод о том, что отклонения формы поверхностей (огранка и волнистость) обработанной цилиндрической поверхности, вследствие колебаний элементов станка при обработке, не оказывают существенного влияния на точность диагноза.

Таким образом, разложение значений измеренных погрешностей обработки детали в ряд Фурье позволило получить следующий результат: методическая ошибка гармонического анализа приближенно составляет 0,2%.

Проведенное численное моделирование показало: по какому числу гармоник ни раскладывались бы значения измеренных погрешностей обработки по-

верхностей, на сколько бы они ни увеличивались, геометрические погрешности станка (после фильтрации гармоник) не изменяются. При этом ни количество точек, в которых проводились измерения поверхности детали, ни количество вычисляемых погрешностей обработки поверхности детали, ни вид поверхности, ни вид детали не оказывают влияния на определение величин геометрических погрешностей станка.

Из этого следует вывод: отклонения формы обработанной на металлорежущем станке детали на результаты диагностирования влияния не оказывают – метод наименьших квадратов, заложенный в основу определения параметров геометрической точности станка, усредняет, «сглаживает» влияние отклонений формы обработанной детали на результаты диагностирования станка.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проников, А.С. Надежность машин. / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Григорьев, С.Н. Проблемы технической диагностики станочного оборудования на современном этапе развития // С.Н. Григорьев [и др.] Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 4. С. 27-36.
3. Как работают японские предприятия: Сокр. пер. с англ. / Под ред. Я. Мондера [и др.] / А.С. Проников. – М.: Экономика, 1989. – 262 с.
4. Аникеева, О.В. Управление этапом планирования для повышения качества процесса ремонта металлорежущих станков [Текст]: Автореферат ... к.т.н., спец. 05.02.23. Курск, 2012. 16 с.
5. Аникеева, О.В. Функциональная диагностика металлорежущих станков / О.В. Аникеева // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – № 5-1. – С. 106а-112.
6. Решетов, Д.Н., Портман, В.Т. Точность металлорежущих станков. / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.