УДК 621.753

Ю.В. Петраков, д-р техн. наук, проф.
НТУУ «КПИ», г. Киев, Украина
Тел./Факс: +38 (044) 4068106; E-mail: yp-86@yandex.ru

КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЯ ОТ КРУГЛОСТИ ПРИ ШЛИФОВАНИИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Предложено измерять отклонения формы деталей, в частности, отклонение от круглости, непосредственно на станке с ЧПУ, особенно при шлифовании ответственных деталей. Разработан алгоритм расчета отклонения от круглости по анализу массива точек биения реального профиля в контролируемом сечении детали. Способ контроля и алгоритм были апробированы при определении отклонений формы рабочей поверхности оправки стана холодной прокатки труб на модернизированном круглошлифовальном станке с ЧПУ.
Ключевые слова: *Отклонение формы от круглости, шлифование на станке с ЧПУ.*

1. Вступление

Операции шлифования, как правило, являются заключительными в технологическом процессе изготовления детали и к ним предъявляются требования не только обеспечения заданного размера, но и формы поверхности. Контроль отклонений формы обычно проводится на контрольно-измерительных машинах, например, Talyrond, когда деталь уже снята со станка [1,2], в то же время контроль размера зачастую выполняется непосредственно во время обработки с помощью приборов активного контроля. Поэтому оперативный контроль формы обрабатываемой поверхности непосредственно на станке, особенно для ответственных или крупногабаритных деталей, является важным инструментом диагностики. Технически не существует препятствий к реализации такого контроля, поскольку на современных станках с ЧПУ программируемая точность перемещения достигает 0,1мкм, они оснащаются мощными компьютерами. Поскольку прибор активного контроля не в состоянии измерять отклонения формы обрабатываемой детали, такую информацию можно легко получить от дополнительного датчика линейных перемещений или контактного щупа. Таким образом, не существует принципиальных трудностей по реализации возможности определения отклонений формы, а именно, отклонения от круглости, непосредственно на станке, что является актуальной задачей.

2. Постановка задачи

При использовании для контроля измерительного щупа в систему ЧПУ поступает информация о биении обрабатываемой детали, а отклонение от круглости по ГОСТ 24642-81 [3] трактуется как наибольшее расстояние от вписанной, средней или описанной в реальный профиль окружности. Поэтому, для расчета отклонений формы по данным биения необходимо разработать специальное программное обеспечение.

3. Основное содержание

Измерения с помощью датчика линейных перемещений проводится при вращении детали вокруг линии центров, в результате чего можно получить массив значений биения поверхности в конкретном сечении.

Для расчета отклонения формы от круглости необходимо воспользоваться схемой рис.1, где массив данных поперечного сечения определяет фактическую форму, которая показана линией 1, а идеальная окружность (линия 2) расположена так, чтобы

среднеквадратичное отклонение от реального профиля было минимальным. Таким образом, центр описанной окружности расположен в точке O_1, положение которой в системе координат **YOX** определяется радиусом OO_1 и углом β. Следовательно, для определения отклонения профиля от идеальной окружности достаточно найти уравнение этой окружности в полярной системе координат с полюсом **O**, который совпадает с линией центров станка и относительно которого было измерено биение OA_1, а потом сравнить с радиус-вектором OA идеальной окружности.

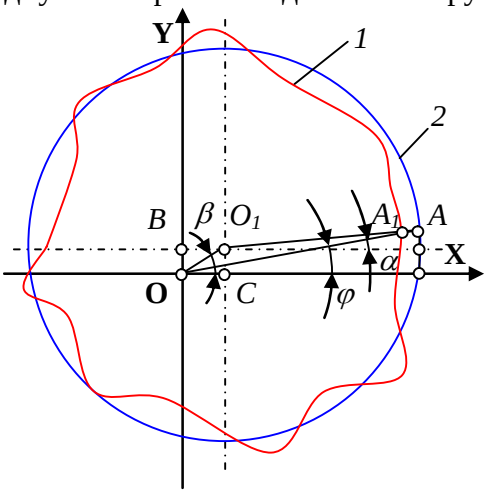


Рис. 1. Схема к расчету отклонения от круглости

Из геометрических соотношений схемы по рис.1 можно получить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} OA\cdot\cos\varphi = OO_1\cdot\cos\beta + O_1A\cdot\cos\alpha \\ OA\cdot\sin\varphi = OO_1\cdot\sin\beta + O_1A\cdot\sin\alpha \end{cases}. \quad (1)$$

Из первого уравнения системы (1) имеем:

$$\cos\alpha = \frac{OA\cdot\cos\varphi - OO_1\cdot\cos\beta}{O_1A}, \quad (2)$$

откуда

$$\sin^2\alpha = \frac{O_1A^2 - OA^2\cdot\cos^2\varphi + 2\cdot OA\cdot OO_1\cos\varphi\cdot\cos\beta - OO_1^2\cdot\cos^2\beta}{O_1A_2}. \quad (3)$$

После подстановки полученного выражения во второе уравнение системы (1), которое представлено в виде:

$$(OA\cdot\sin\varphi - OO_1\cdot\sin\beta)^2 = O_1A^2\cdot\sin^2\alpha$$

и некоторых алгебраических преобразований можно получить квадратное уравнение относительно радиус-вектора OA идеальной окружности в полярной системе координат:

$$OA^2 - a\cdot OA + b = 0, \quad (4)$$

где $a = 2\cdot OO_1\cdot(\sin\varphi\cdot\sin\beta + \cos\varphi\cdot\cos\beta)$, $b = OO_1^2 - O_1A^2$.

Решение уравнения (4) определяет функцию радиус-вектора OA от угла φ в полярной системе координат:

$$(OA)_{1,2} = OO_1(\sin\varphi\sin\beta + \cos\varphi\cos\beta) \pm \sqrt{(OO_1(\sin\varphi\sin\beta + \cos\varphi\cos\beta))^2 - OO_1^2 + O_1A^2}. \quad (5)$$

Теперь задача определения отклонения формы от круглости сводится к решению задачи оптимизации: найти такие значения координат центра идеальной окружности (эксцентриситет OO_1 и угол β), чтобы максимальное отклонение от реального профиля, который представлен биением, было минимальным. Для решения этой задачи целесообразно воспользоваться методом Гаусса-Зейделя или покоординатного спуска. С целью реализации этого метода был разработан алгоритм, укрупненная блок-схема которого показана на рис.2.

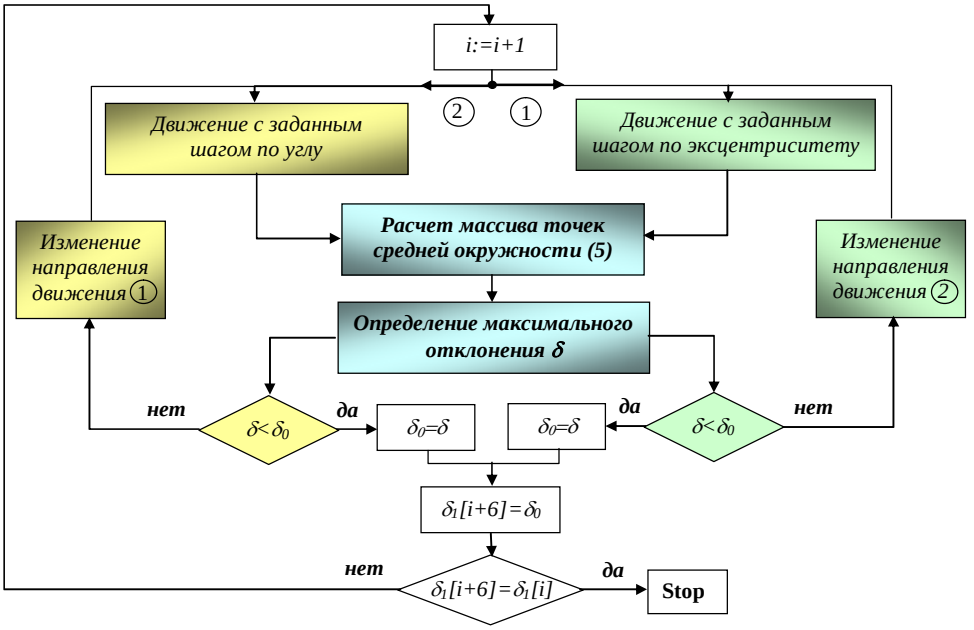


Рис. 2. Блок-схема алгоритма определения отклонения от круглости

На первом шаге ($i=1$) выполняется изменение первоначально рассчитанного значения угла β на заданный шаг и расчет массива точек средней окружности по зависимости (5) с последующим определением максимального отклонения δ измеренного массива фактического профиля детали. Такой процесс будет повторяться до тех пор, пока не выполниться условие $\delta < \delta_0$, где δ_0 – первично рассчитанное максимальное отклонение. После этого выполняется шаг назад и алгоритм меняет направление движения: расчеты выполняются по пути, обозначенному цифрой 1 на рис.2 - с заданным шагом изменяется эксцентриситет. Движение в этом направлении осуществляется также до выполнения аналогичного условия $\delta < \delta_0$, когда меняется направление движения и расчеты выполняются по пути, обозначенному цифрой 1 на рис.2. Такие циклы повторяются до тех пор, пока не выполнится условие $\delta_1[i+6] = \delta_1[i]$, что означает достижения экстремума – минимума максимального отклонения реального профиля от идеальной окружности.

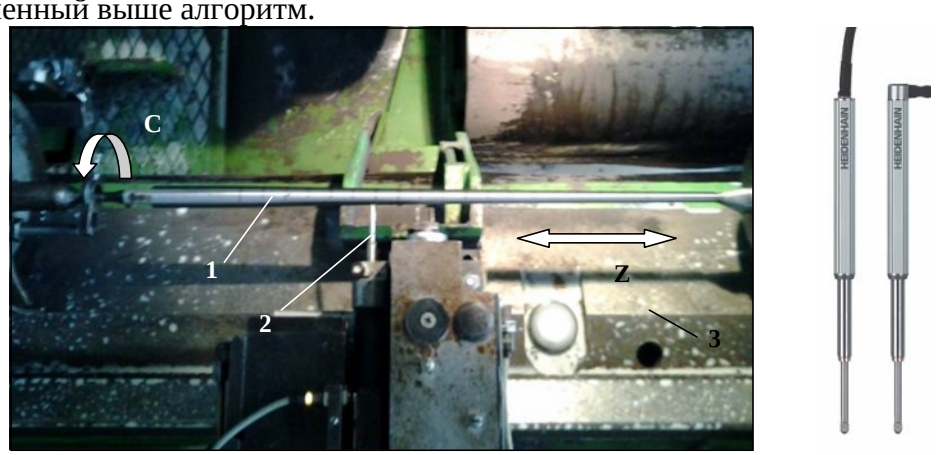
4. Апробация

Разработанный метод и прикладная программа, построенная по предложенному алгоритму были апробированы при решении задачи определения отклонения от круглости на специальном круглошлифовальном станке с ЧПУ для шлифования рабочей поверхности оправок станов холодной прокатки труб.

Станок был оснащен специальной системой измерения, которая позволяет измерять деталь 1 непосредственно на станке при установке ее в центрах

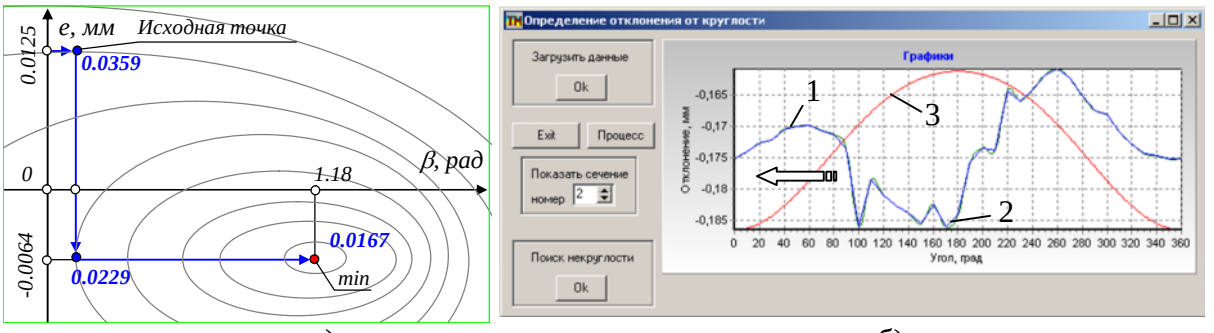
измерительным щупом 2 фирмы Heidenhain (рис.3). Измерения выполняются по специальной программе при повороте детали на заданный угол с дискретностью 10^0 по координате **C** для каждого запланированного сечения. Для измерений в следующем сечении стол 3 станка перемещается по координате **Z** и цикл повторяется. Щуп (рис.1, б) снабжен ножеподобным наконечником и обеспечивает точность измерений ±1мкм [4].

Таким образом, для каждого поперечного сечения детали в стойке ЧПУ создается файл с массивом данных, которые определяют биение фактической поверхности относительно линии центров. Для обработки полученного массива используется представленный выше алгоритм.

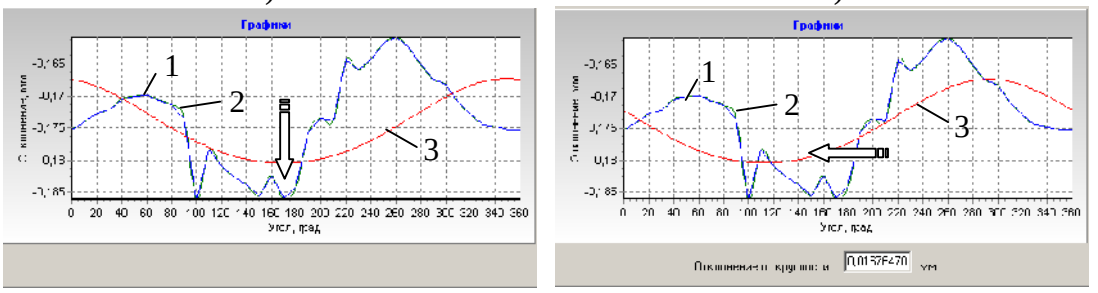


а) б)

Рис. 3. Схема измерения на станке с ЧПУ (а), измерительный щуп фирмы Heidenhain (б)



а) б)



в) г)

Рис. 4. Линии равного уровня (а) интерфейс в процессе поиска экстремума (б, в, г)

Иллюстрация функционирования алгоритма представлена на рис.4 а, где показаны линии равного уровня функции двух переменных: эксцентриситета e и угла β. Поиск начинается от точки, с координатами e=0,0125 мм; β=0 где значение целевой функции составляет 0,0359 мм. Такое состояние представлено в графическом окне интерфейса специально разработанной программы автоматического поиска экстремума, где отклонение измеренного по биению профиля сечения №2 детали показано линией 1, интерполированный сплайном график отклонения – линия 2, а массив точек идеальной окружности, центр которой находится в обозначенной точке – показан линией 3 (рис.4, б). При нажатии кнопки «Ok» в окне «Поиск некруглости» автоматически начинается движение к экстремуму, как показано стрелками на рис.4, б, в, г. После достижения экстремума в окне интерфейса афишируется величина отклонения от круглости.

Выводы

1. Контроль отклонения формы детали от круглости целесообразно проводить на станке с ЧПУ при выполнении операции шлифования с помощью измерительного щупа, подключенного к стойке.
2. Разработанный алгоритм расчета позволяет определить отклонение от клуглости по анализу массива значений биения в сечении детали
3. Разработанный алгоритм оптимизации по методу покоординатного спуска может использоваться при решении других задач оптимизации функции двух переменных.

Список литературы:

1. Захаров О.В. Минимизация погрешности формообразования при бесцентровой абразивной обработке // СГТУ, Саратов, 2006.-152с.
2. Методика измерения погрешностей формы поверхностей // www.bru.mogilev.by/students
3. Межгосударственный стандарт. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. ГОСТ 24642-81. с.118-162.
4. Инкрементальные измерительные щупы фирмы HEIDENHAIN // www.heidenhain.de

Petrakov Y.V.

CONTROL OF CIRCULARITY DEVIATION AT GRINDING ON CNC MACHINE-TOOLS

It is suggested to measure the rejections of form of details, in particular, deviation from a roundness, directly on a machine-tool with CHPU at implementation of operation of polishing of important details. The algorithm of calculation of circularity deviation is developed based on the analysis of points array of radial run-out of the real shape in controlled section of detail. A control method and algorithm were approved by determination of circularity deviation of working surface of finger for cold rolling of pipes on the modernized CNC grinding machine-tools.

Keywords: *Circularity deviation, grinding on a CNC machine-tools.*

Петраков Ю.В.

КОНТРОЛЬ ВІДХИЛЕННЯ ВІД КРУГЛОСТІ ПРИ ШЛІФУВАННІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

Запропоновано вимірювати відхилення форми відповідальних деталей, зокрема, відхилення від круглості, безпосередньо на верстаті з ЧПК під час виконання операції шліфування. Розроблений алгоритм розрахунку відхилення від круглості за аналізом масиву точок биття реального профілю в перетині деталі, що контролюється. Спосіб контролю і алгоритм були апробовані при визначенні відхилень форми робочої поверхні оправки стану холодної прокатки труб на модернізованому круглошліфувальному верстаті з ЧПК.

Ключові слова: *Відхилення форми від круглості, шліфування на верстаті з ЧПК.*

Надійшла до редколегії 30.05.2013 р.