

УДК 629.4.027:537.533

А.Е. Кочин (канд. техн. наук, доц.)ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра электронной техники
E-mail: kochinalex@list.ru**АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАГОТОВОК
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

Проанализированы существующие принципы построения систем определения геометрических параметров заготовок железнодорожных колес. Синтезирована структурная схема разрабатываемой измерительной микропроцессорной системы. Проанализированы основные источники погрешностей измерения геометрических параметров. Предложены методы и способы уменьшения влияния негативных факторов на точность измерения. Приведен метод восстановления геометрии заготовки колеса, на основе значений дальности пройденной измерительным лучом и углом поворота системы развертки. Предложен алгоритм компенсации неточности положения оптической системы относительно центральной оси заготовки колеса. Приведены результаты моделирования процесса измерения с коррекцией измеренных значений геометрии. Проанализированы границы применимости предложенного метода компенсации погрешностей.

Ключевые слова: железнодорожное колесо, заготовка железнодорожного колеса, 3d моделирование, микропроцессорная система, погрешности, компенсация.

Актуальность и проблема

Измерение геометрии заготовок железнодорожных колес в процессе их изготовления позволяет уменьшить количество металла, которое потребуется удалить в процессе последующей обработки. Это приводит к уменьшению себестоимости производства колес. При современном уровне цены на высококачественную сталь, внедрение измерительных систем определения геометрии заготовок является экономически целесообразным. Разрабатываемая измерительная система должна обладать достаточно высоким быстродействием обеспечивающим измерение нескольких заготовок колеса в течение минуты. Так же одним из основных технических требований, предъявляемых к системе, является необходимость обеспечить работу без присутствия операторов в непосредственной близости от заготовки.

Анализ существующих способов определения геометрии горячих тел показал целесообразность использования оптических методов измерения. В основу метода положен принцип последовательного сканирования разреза заготовки с последующим поворотом заготовки на крутящем столе.

Таким образом, при разработке системы необходимо синтезировать ее структурную схему. На основе структурной схемы определить основные источники погрешностей измерения геометрии и разработать методы их компенсации.

Постановка задач исследований

Для решения поставленной задачи необходимо выполнить исследования в следующих направлениях:

© Кочин А.Е., 2013

- провести анализ структуры быстродействующей оптической системы измерения геометрии синтезировать структурную схему системы;
- определить источники возникновения погрешностей измерителя и оценить степень влияния их на точность измерений геометрии;
- предложить пути повышения точности измерений геометрии заготовок.

Решение задач и результаты исследований

Производство железнодорожных колес сложный многоступенчатый технологический процесс. Прессопрокатное оборудование оснащено системами автоматического контроля, регулирования положения деформирующего инструмента и заготовки на основе измерения геометрических параметров заготовок колес [1,2]. Анализ существующих методов измерения геометрических параметров показывает, что оптические методы являются оптимальными по скорости измерения и температуре среды методами измерения геометрии заготовок железнодорожных колес. В процессе исследования в качестве основного метода измерения был выбран фазовый сканирующий оптический метод с вращением заготовки на измерительном столе. В основу метода положено измерение задержки фазы принятого излучения от объекта по сравнению с фазой первичного излучения. Использование такого метода измерения геометрии сталкивается с рядом технических трудностей. Так, необходимо добиться оптимального расположения приемопередающего модуля, выбрать длину волны измерительного излучения, и определив длину прохождения луча, длину волны и требуемую точность измерения выбрать модулятор оптического излучения.

На основе поставленных технических требований к системе и выбранного метода измерений была синтезирована структурная схема предлагаемой системы измерения геометрии заготовок железнодорожных колес, которая представлена на рис. 1

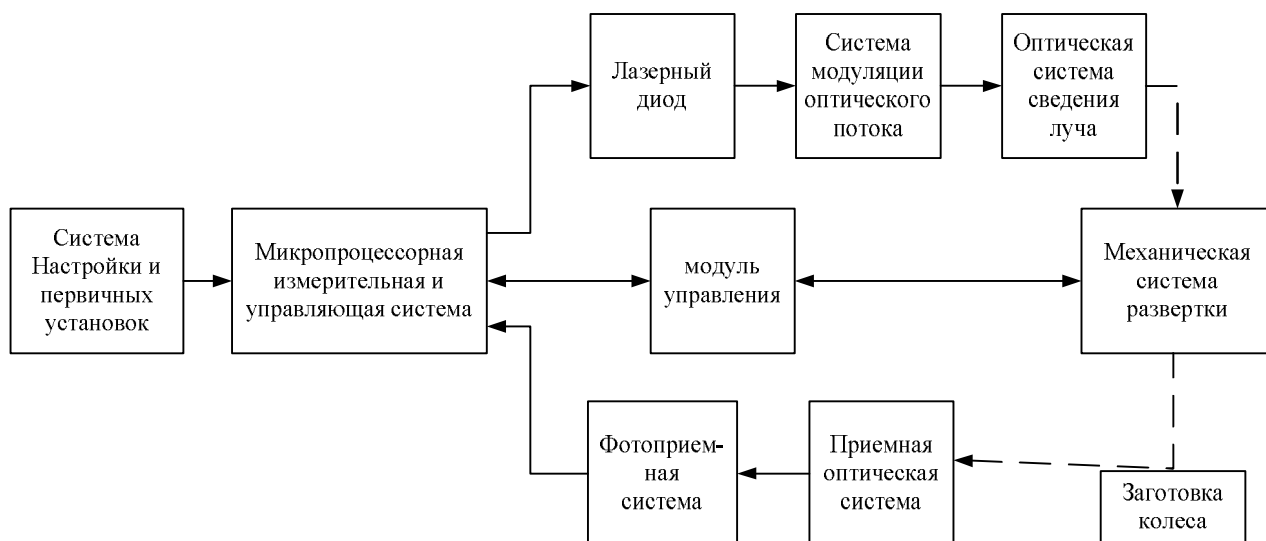


Рисунок 1 – Структурная схема разрабатываемой системы измерения геометрии заготовок

Основой системы является центральный микропроцессор управляющий системой модуляции сигнала, модулем управления развертки, и обрабатывающим полученные измеренные значения с фотоприемной системой. В качестве основы измерительной системы положен оптический дальномер, работающий в красной области видимого спектра. Выбор спектра излучения светодиодного лазера основан на анализе спектра темнового излучения заготовки, имеющей температуру после прокатки в диапазоне 950-1050°C. В качестве метода определения дальности прохождения луча, используется фазовый метод. Измерительный сигнал подается на модулятор обеспечивающий создание амплитудно-модулированного измерительного сигнала. Поскольку угол расхождения луча полупроводникового лазера достаточно большой для обеспечения точности системы необходимо обеспечить

фокусировку измерительного луча после источника излучения и модулятора[3]. После прохождения фокусирующей системы измерительный сигнал поступает на систему развертки, которая представляет собой шестигранную зеркальную призму обеспечивающую угол разворота луча в пределах 0-60°, что позволяет определить геометрию колеса в каждой контрольной точке[4]. При работе системы используется сканирующий метод прохода лазерного луча по заготовке за 60° поворота вала развертывающей системы. Отраженный луч поступает через систему ввода оптического потока в фотоприемную систему. Параметры фотоприемной системы позволяют обеспечить идентификацию измерительного сигнала на фоне теплового оптического потока от заготовки колеса. Микропроцессорная измерительная система обеспечивает обработку полученного измерительного сигнала и получение данных о геометрии заготовки.

Анализ структурной схемы устройства позволяет выделить основные источники погрешностей измерения геометрии заготовки. Причины возникновения погрешностей можно разделить на несколько групп: погрешность метода измерения расстояния, погрешность позиционирования заготовки на измерительном столе, ошибки вызванные неточностями работы системы развертки, оптические помехи среды в которой происходит измерения.

Погрешность метода измерения связана с принципом измерений фазового смещения потока. Метод измерения расстояния на основе принципа фазового смещения использует следующую зависимость:

$$D = k * \lambda + \Delta\varphi / 2\pi$$

где: D - дистанция до объекта; k - количество целых волн; λ - длина волны модулированного луча; $\Delta\varphi$ - угол сдвига фаз.

Приведенное выражение показывает, что точность метода прямо пропорционально зависит от точности длины волны источника излучения. Поэтому в системе необходимо помимо использования лазерного диода, который обладает монохроматическим спектром, устанавливать дополнительный монохроматор. Необходимость его установки обусловлена изменением центральной частоты спектра излучения диода от изменения температуры окружающей среды. Еще одной из причин возникновения погрешностей измерения вызванных использование фазового метода, являются методы преобразования смещения фаз в напряжение или временные отрезки. Для преобразования смещения фаз в напряжение используется интегрирующий метод, который основан на накоплении количества импульсов за время прошедшее между переходом нуля принятым сигналом и эталонным. Использование такого алгоритма на расстоянии между заготовкой и приемопередающей системой, порядка 3,5 м [4], накладывает жесткие ограничения по частотным свойствам усилителей используемых в интеграторах, частота единичного усиления должна быть не менее 500МГц-1ГГц.

Причины возникновения погрешностей, вызванных системой развёртки оптического излучения, связаны с методами достижения перемещения луча по заготовке. Так в технике наибольшее распространение получили три механических способа управления гармоническим перемещением оптического луча: качающееся зеркало, вращение призмы и оптический клин. По совокупности технических достоинств и простоты технической реализации, наиболее рациональным способом развертки в предложенной системе является метод вращающейся призмы. Однако у этого способа, есть и существенные технические недостатки и ограничения. Так, основным источником погрешностей измерения при развертке таким методом является необходимость достаточно точного определения частоты вращения вала, на котором расположена призма. На сегодняшний день использование двигателей с обратной связью по частоте вращения, позволяет скомпенсировать погрешности связанные с нерегулярностью частоты оборота призмы. Однако при этом на механизм вращения призмы накладываются требования по точности расположения оси

вращения. Задача компенсации погрешности вызванной несовпадением направлений вращения может быть решена на алгоритмическом уровне в микроконтроллере в процессе обработки полученных результатов измерений.

Тепловая конвекция в воздухе около разогретой заготовки приводит к разному коэффициенту передачи средой оптического измерительного канала и смещению измерительного луча относительно приемной оптической системы. Для минимизации таких погрешностей необходимо с помощью оптической системы сведения луча обеспечить сечение потока минимального размера, что обеспечит компенсацию изменения угла преломления. Компенсация траектории измерительного луча в воздухе возможна при алгоритмической обработке полученных геометрических параметров в измерительной микропроцессорной системе.

Причины возникновения погрешностей имеют различную природу, однако алгоритм их компенсации можно свести к анализу измеренной геометрии и в случае необходимости внесения поправок в результаты измерений. Рассмотрим пример построения такого алгоритма компенсации на примере ситуации несовпадения оси развертки с центром заготовки.

На рис. 2 представлена схема прохождения лазерного луча. Источник излучения Т излучает поток под углом α . Он отражается от поверхности заготовки, и рассеянный свет регистрируется приемником R. Приемник измеряет фазу полученного луча и рассчитывает его удлиняющуюся ($L1 + L2$)

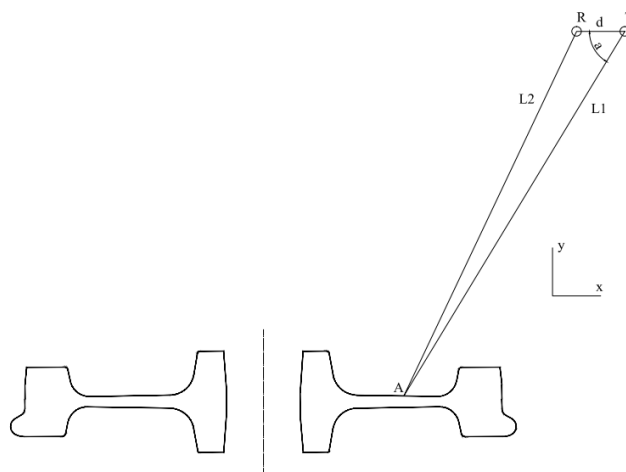


Рисунок 2 – Геометрия прохождения лазерного луча

Для расчета расстояния до точки А применим теорему косинусов

$$L2^2 = L1^2 + d^2 - 2 \cdot L1 \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Отсюда найдем:

$$L1 = \frac{L^2 - d^2}{2 \cdot L - 2 \cdot d \cdot \cos (\alpha)}$$

где L - расстояние, пройденное лучом ($L = L1 + L2$); α - угол луча относительно прибора.

Если координаты точки источника Т принять ($x; y$), то координаты тока А найдем по формуле:

$$A_x = T_x - L1 \cdot \cos \alpha$$

$$A_y = T_y - L1 \cdot \sin \alpha$$

В программе программы AutoCAD сделаем чертежи поперечного сечения железнодорожного колеса и нанесем точки передатчика (Т) и приемника как изображено на рис.2.

С помощью программного пакета Delphi разработана программа, которая моделирует процесс сканирования заготовки колеса. Она рассчитывает расстояние прохождения лазерного луча TAR (см. рис 2) и угол α сканирования системы до каждой точки на срезе поверхности колеса. Результаты измерения выводятся на панель в программе AutoCad, а также сохраняются в текстовый файл в виде таблицы. В дальнейшем система в случае выявления неточности воспроизведения геометрии, выхода измеренной поверхности за допустимые пределы, может компенсировать неточности, внося поправки в измеренные данные.

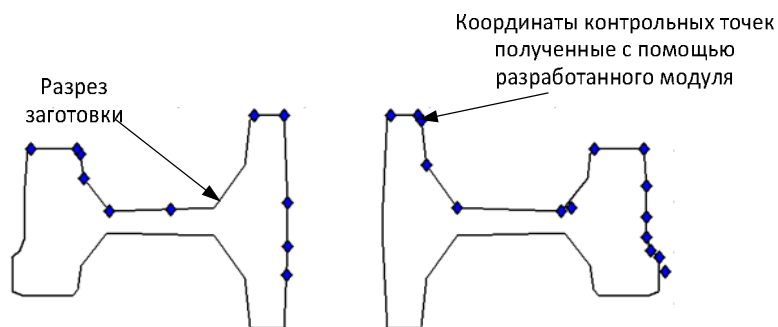


Рисунок 3 – Результаты моделирования компенсации погрешностей измерения

Однако использование метода компенсации погрешности на основе последующей обработки данных имеет некоторые ограничения. Так в случае если угол между нормалью поверхности вращения заготовки и поверхностью развертки будет превышать некоторый угол, измерительный поток не будет проходить через все контрольные точки на диске заготовки. Определим с помощью моделирования такой критический угол.

Для этого построим трехмерную модель заготовки колеса.

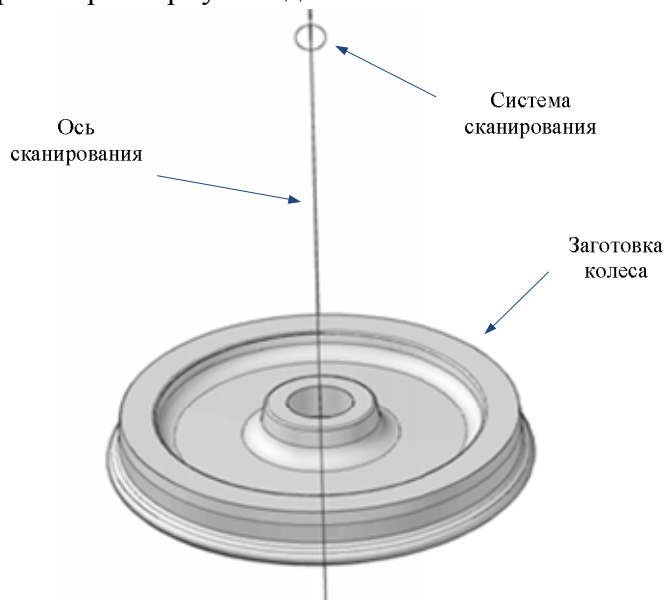


Рисунок 4 – Трехмерная модель относительного расположения поверхности измерительной системы и заготовки колеса

В наилучшем случае заготовка колеса будет вращаться в перпендикулярной плоскости к плоскости развертки при этом она должна проходить через центральную ось заготовки. Однако такого взаимного расположения заготовки и измерительной системы достаточно сложно добиться даже с использованием промышленных роботизированных

манипуляторов. При этом форма заготовки может иметь некоторые неточности центровки. В связи с этим было проведено моделирование процесса измерения заготовки колеса с последующей компенсацией погрешностей измерений для двух случаев взаимного расположения заготовки и оптической системы.

Так в первом случае ось сканирования была смещена на 3° относительно нормали поверхности вращения заготовки. В результате сканирования поверхности заготовки мы получаем сечение вида приведенного на рис.5

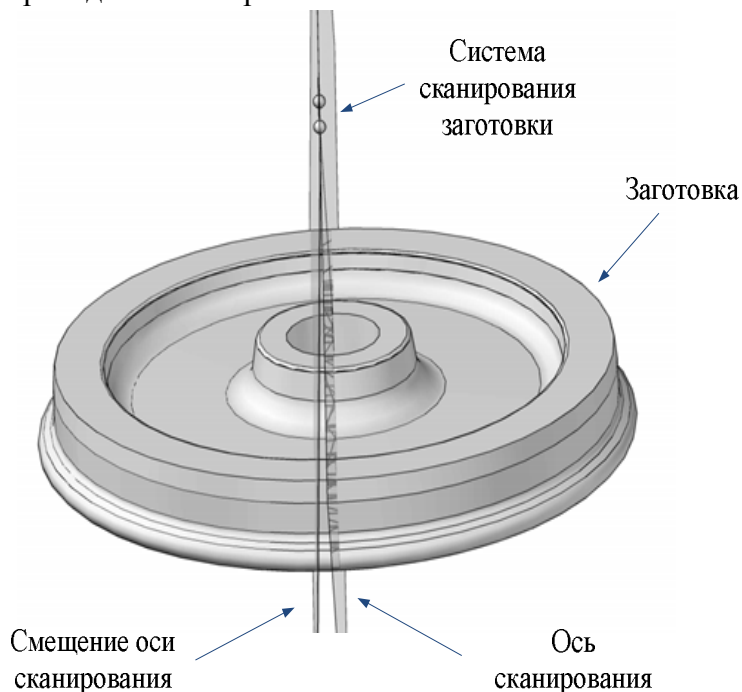


Рисунок 5 –Разрез заготовки при смещении оси сканирования на 3°

Как видно на рис. 5 смещение линии сканирования не привело к критическому затемнению элементами заготовки контрольных точек. При этом, несмотря на полученный за один проход сканирующего луча разрез заготовки, представленный на рис.6, который отличается от осевого сечения восстановление геометрии возможно. Для этого необходимо провести анализ некоторого количества сечений с последующей компенсацией неточности позиционирования. Результат выполнения алгоритма компенсации показан на рис. 7.

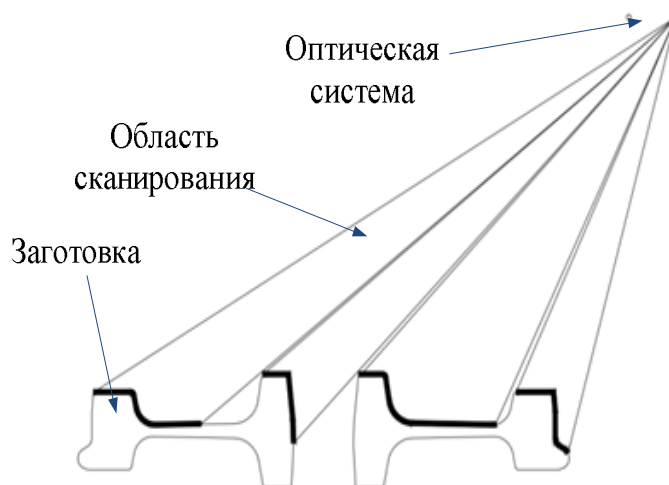


Рисунок 6 – Полученный разрез заготовки колеса при смещении оси сканирования на 3°

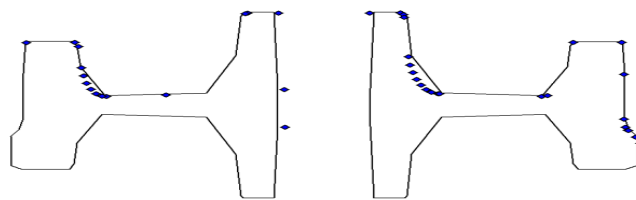


Рисунок 7 – Результат измерения геометрии колеса с использованием алгоритма компенсации угла смещения

Однако, предложенный метод компенсации погрешностей смещения оси сканирования имеет ограничения. Так, при угле смещения в 6° мы получаем разрез заготовки, приведенный на рис. 8. При рассмотрении разреза можно видеть, что область заготовки, в которой возможно измерение геометрии, на рисунке выделено жирными линиями не проходит через все контрольные точки. Соответственно, при таком расположении заготовки и измерительной системы измерение проводить невозможно, и алгоритм компенсации не применим.

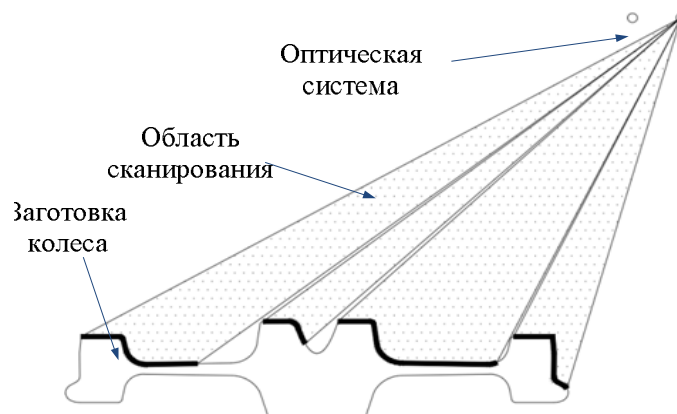


Рисунок 8 – Полученный разрез заготовки колеса при смещении оси сканирования на 6°

Выводы

1. Разработана структурная схема микропроцессорной оптической измерительной системы определения геометрических параметров заготовок железнодорожных колес.
2. Определены основные источники погрешностей определения геометрических параметров заготовок железнодорожных колес. Определены основные способы компенсации погрешностей вызванных влиянием температуры на источник излучения, неточности расположения системы развертки, конвекцией воздуха в измерительном канале.
3. Предложен метод компенсации погрешностей измерений заготовки основанный на многократном измерении сечения заготовки с последующей обработкой полученных значений.

Список использованной литературы

1. Снитко С.А. Анализ силовых и скоростных параметров прокатки колес / С.А. Снитко // Наукові праці ДонНТУ. Металургія: Зб. наук. пр. – 2008. – Вип. 10 (141). – С. 163 – 172.
2. Шифрин М.Ю. Резервы производительности и выхода годного при прокатке колес / М.Ю. Шифрин. – М.: Металлургия, 1989. – 144 с.
3. Носов Ю.Р. Оптоэлектроника / Ю.Р. Носов. – М.: Радио и связь, 1989. — 360 с. ил.
4. Кочин А.Е. Оптическая система контроля геометрических параметров заготовок железнодорожных колес в технологическом потоке производства / А.Е. Кочин // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – Вип. 5. - С. 84 – 86.

Надійшла до редакції:
18.05.2013

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

О.Е. Кочин

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Аналіз структури мікропроцесорного оптичної системи вимірювання геометричних параметрів заготовок залізничних коліс. Проаналізовано існуючі принципи побудови систем визначення геометричних параметрів заготовок залізничних коліс. Синтезована структурна схема вимірювальної мікропроцесорної системи, що розробляється. Проаналізовано основні джерела похибок вимірювання геометричних параметрів. Запропоновано методи та способи зменшення впливу негативних факторів на точність вимірювання. Наведено метод відновлення геометрії заготовки колеса, на основі значень дальності пройденої вимірювальним променем і кутом повороту системи розгортки. Запропоновано алгоритм компенсації неточності положення оптичної системи щодо центральної осі заготовки колеса. Наведено результати моделювання процесу вимірювання з корекцією вимірних значень геометрії. Проведено аналіз меж застосування запропонованого методу компенсації похибок.

Ключові слова: залізничне колесо, заготівля залізничного колеса, 3d моделювання, мікропроцесорна система, похибки, компенсація.

A.Ye. Kochin

Donetsk National Technical University

Structure Analysis of the Microprocessor Optical Measurement System of Railway Wheels Workpieces. Measurement system of railway wheels workpieces allows reducing the amount of metal, which should be removed during subsequent processing. This fact reduces the production cost of the wheels. At current prices for high-grade steel, the introduction of geometry measurement systems is economically feasible. The developed measuring system will have a sufficiently high speed, which provides the measurement of several workpieces per minute. One of the basic technical requirements for the system is to work without operators in the vicinity of workpieces. Analysis of existing methods for determining the geometry of hot objects showed the feasibility of using optical measurement methods. The method is based on the principle of sequential scanning of the cut workpieces followed by rotating the workpieces by turning the table. Thus, the system design is necessary to synthesize its block diagram, to determine the main sources of measurement errors and to develop methods of compensation. To solve this problem it is necessary to perform research in the following areas: to analyze the structure of high-speed optical measurement system, to synthesize a block diagram of the system; to identify the sources of errors in the meter and to assess the degree of their influence on measurement geometry accuracy; to suggest the ways of improving the accuracy of workpieces measurement. In this article the block diagram of a microprocessor-based optical measurement system to determine geometric parameters of blanks railway wheels is designed; the main sources of errors in determining the geometric parameters of railway wheels are defined; inaccuracy of positioning the system scan, convection of air in the measuring channel are determined; the methods for measuring the workpieces error compensation based on multiple measurements of the blank section are proposed.

Keywords: railway wheel, railway wheel workpiece, 3d modeling, microprocessor system, error, compensation.