



Оптоэлектронные и лазерные методы измерений технологических параметров в металлургическом и горнорудном производствах

УДК 531.717.1:621.771

В.Я. Ободан /д.т.н./
АО "НИИАЧермет"

На основе краткого обзора возможностей оптоэлектронных и лазерных методов измерений приведены перечни технологических параметров в прокатном, трубном, металлургическом и горнорудном производствах, контроль которых возможно и целесообразно выполнять с их использованием. Описаны разработанные в НИИАЧермете оптоэлектронные и лазерные автоматические установки контроля геометрии труб и колес в потоке производства и удлинения образцов при испытаниях на растяжение. Ил. 3. Библиогр.: 9 назв.

измерения, оптоэлектроника, лазеры, геометрические параметры, металлопродукция

Оптоэлектронные и лазерные методы измерения длительное время применяются в промышленности, научных исследованиях, военной технике, при обработке и передаче информации и в других областях человеческой деятельности. Их использование расширяется благодаря исключительному сочетанию разнообразных свойств: быстродействия, чувствительности, широкого спектрального диапазона, возможности микроминиатюризации. С каждым годом совершенствуется элементная база, создаются новые эффективные алгоритмы и программы обработки и распознавания изображений. Решающую роль в развитии этих методов играет подобие воспринимаемой оптической информации приборами и зрительным анализатором человека, а также экологическая чистота оптоэлектронных и, в большинстве случаев, лазерных приборов.

Применительно к технологиям горно-металлургического комплекса упомянутые методы позволяют контролировать следующее.

В прокатном и трубном производстве длину проката, ширину листов, диаметр круга и труб, форму сечения фасонного проката, толщину листа, толщину стенки труб, в том числе и при одностороннем доступе, овальность труб и круглых профилей, периметр газопроводных труб, соосность цилиндрических участков, перемещение, скорость и ускорение проката, прогиб или длину петли металла, угловые параметры, шероховатость поверхности, площадь сечения, объем трубной заготовки для целей раскроя по массе, кривизну проката и труб, серповидность и неплоскостность полосы, размеры отпечатков при контроле твердости, геометрию и положение сварных швов, профиль прокатных валков, удлинение образцов при механических испытаниях, геометрию сложных изделий,

например, колес, периодического круглого проката, поковки, многогранников, наружные видимые дефекты и внутренние полости, а также осуществлять сдаточный контроль и разбраковку металлопродукции по геометрии, дефектоскопию поверхности листов, отсутствие проколов в тонкой жести и фольге, повышение контрастной чувствительности рентгентелевизионных дефектоскопов сварного шва и автоматическое распознавание дефектов.

В металлургическом производстве спектры поглощения и излучения при химическом анализе металлов и газов интерференционными способами, износ кладки конвертеров, чугуновозов, миксеров с применением лазерных позиционируемых дальнометров, качество огнеупоров, осуществлять автоматизацию металлографических исследований, контроль низкочастотной вибрации, тепловизионный мониторинг механического, энергетического и электротехнического оборудования.

В горнорудном производстве гранулометрический состав металлургического сырья (руда и нерудные материалы на разных стадиях дробления, окатыши, агломерат, пульпа, кокс), состояние стенок скважин, целостность оборудования, например, наличие зубьев ковша экскаватора, колосников агломашины, состояние атмосферы, наличие выбросов, осуществлять оптическую связь и направленную кодированную передачу сигналов при управлении взрывами.

Библиография последних 15 лет, посвященная теоретическим и практическим аспектам использования оптоэлектронных и лазерных методов измерения в промышленности, насчитывает, включая патенты, несколько тысяч наименований. Некоторые вопросы применения рассматриваемых методов при производстве проката и труб освещены в работах [1-3]. Качественно изготовленные оптоэлектронные установки при грамотном обслуживании имеют очень большой срок службы. Например, созданные НИИАЧерметом измеритель диаметра горячих труб ТАИР эксплуатируется на НТЗ с 1978 г., измерители диаметра колес по кругу катания и диаметра отпечатка при контроле твердости обода на ВМЗ - соответственно с 1989 и 1992 гг.

Далее в статье в качестве актуальных примеров работы НИИАЧермета описаны три автоматические измерительные установки: две реализованные оптоэлектронные и одна запроектированная лазерная.*1

*1 - Разработку установок выполнили сотрудники отдела автоматического контроля геометрических параметров и механических свойств проката НИИАЧермета А.И. Скрипниченко, Е.А. Бердянский, Б.В. Сологуб, В.А. Новосадов, А.П. Погребной, П.Э. Морозов, И.А. Иванова, К.Е. Закиров и др. в сотрудничестве со специалистами АО "ХТЗ" и АО "НТЗ"

Оптоэлектронная установка контроля периметра и овальности труб большого диаметра

Одним из самых информативных геометрических параметров сечения труб большого диаметра, используемых при прокладке газонефтепроводов, является периметр, т.к. трубы в связи с относительно тонкой стенкой при транспортировке могут деформироваться. При этом меняется овальность сечения, в то время как периметр остается без изменений. Ранее известные контактные методы контроля периметра (рулетка, роликовая обойма и др.) ненадежны и неточны. В основе оптоэлектронного метода лежит доказанная разработчиками теорема, что для любой выпуклой замкнутой фигуры периметр P можно определить по формуле

$$P = \pi D_{\text{вид. ср}}, \quad (1)$$

$$\text{где } D_{\text{вид. ср}} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} D_{\text{вид}}(\varphi) d\varphi. \quad (2)$$

Под $D_{\text{вид}}$ понимается расстояние между двумя параллельными касательными к сечению (рис. 1). На этом принципе в НИИАЧермете была создана для условий ТЭСЦ-2 ХТЗ оптоэлектронная установка "Магистраль" для измерения периметра и овальности труб для магистральных трубопроводов диаметром 1220 мм и 1420 мм во время экспандирования. Измерение видимого диаметра трубы производится дифференциальным теневым методом. Установка содержит две группы оптических средств (для измерения переднего и заднего концов трубы), каждая из которых включает в себя два осветителя и два оптоэлектронных преобразователя (ОЭП) положения видимых кромок трубы на фотодиодных линейках ФУК1Л2, вычислительное устройство с ПЭВМ и монитор на посту оператора. В процессе измерения труба вращается на двух парах опорных роликов. При этом производится сканирование положения кромок трубы и вычисление видимого диаметра. Сканирование производится в 1024 сечениях (при повороте трубы приблизительно на 270 градусов) с последующим определением $D_{\text{вид. ср}}$ по 750 значениям видимых диаметров (поворот трубы на 180 градусов). Алгоритм обработки массива значений видимых диаметров обеспечивает [4, 5]:

- определение участка поворота на 180 градусов;
- фильтрацию имеющихся на трубе продольных сварных швов с целью повышения точности определения периметра;

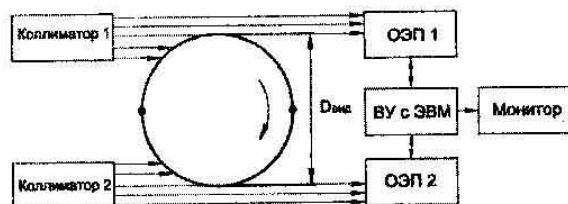


Рис. 1. Блок-схема оптоэлектронного измерения периметра и овальности труб

- вычисление овальности как разницы между максимальным и минимальным диаметром, угловую привязку $D_{\text{макс}}$ и $D_{\text{мин}}$ к положению швов и вывод периметра на монитор оператора экспандера с дополнительным указанием овальности "желоб-шов".

Калибровка установки выполняется автоматически с использованием решетчатого контрольного образца. В процессе калибровки для каждой ячейки фотодиодной линейки производится аналогово-цифровое преобразование видеосигнала, определение его среднего (порогового) значения между освещенным и затемненным состоянием. При определении (по совпадению с порогом) положения фронта используется интерполяция значений видеосигнала в соседних ячейках, что позволяет на порядок уменьшить погрешность от дискретности фотодиодной линейки.

В установке применена IBM-совместимая микроЭВМ "Электроника МС1502" с центральным процессором КР1810ВМ88, используемый объем ОЗУ - до 128 кб, объем ПЗУ с программой функционирования - до 24 кб. Поле зрения ОЭПа - 180 мм, измерение периметра осуществляется с погрешностью $\pm 1,5$ мм ($\pm 0,04$ %) за 15 с (в т.ч. вращение трубы со сканированием - 10 с). Установка может также использоваться для точного контроля труб, при вращении трубы целесообразно контролировать ее общую кривизну [6].

Оптоэлектронный экстензометр для механических испытаний на растяжение

В настоящее время достаточно актуальной является задача модернизации существующего парка разрывных машин в связи с переходом на испытания по зарубежным стандартам при сдаче экспортного проката. Основными требованиями при этом является измерение удлинения образцов на расчетной длине, автоматизация определения параметров и документирование испытаний. Такая система разработана НИИАЧерметом.

В основе системы лежит оптоэлектронный экстензометр, основным преимуществом которого по сравнению с известными является большой диапазон измерения удлинения - от начала нагружения образца до его разрыва. Для измерения деформации к образцу на расчетной длине прикрепляют светоизлучатели (маркеры), за которыми наблюдает матричный ОЭП, связанный с вычислительным устройством (рис. 2). Направление строчной развертки ОЭП перпендикулярно направлению деформации. Для определения вертикальной координаты центра светимости маркера необходимо для каждой строки проинтегрировать видеосигнал по строке. При этом формула для нахождения центра светимости маркера y_c примет вид:

$$y_c = \frac{\sum (i \cdot S_i)}{\sum S_i}, \quad (2)$$

где i - номер строки;
 S_i - интеграл видеосигнала в строке i :

$$S_i = \int U(x, i) dx, \quad (3)$$

где $U(x, i)$ - видеосигнал в i -й строке;
 x - горизонтальная координата или время.

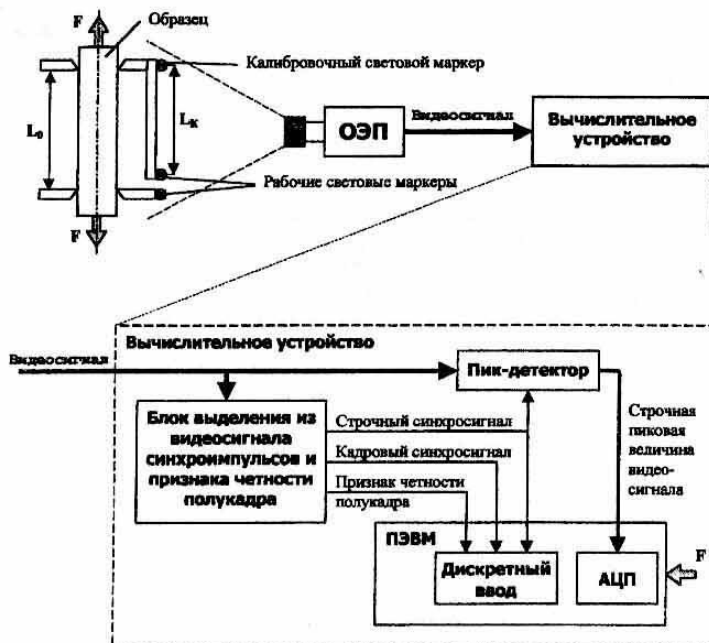


Рис. 2. Блок-схема оптоэлектронного экстензометра

В целях упрощения технической реализации указанного метода и уменьшения количества обрабатываемой информации, при соответствующем выборе формы и размера световых маркеров [8] можно заменить интегральную оценку яркости S_i видеосигнала на пиковое значение A_i . При этом формула (2) упростится и примет вид:

$$y_{\Sigma} = \frac{\sum (i \cdot A_i)}{\sum A_i} \quad (4)$$

Полученная описанным образом вертикальная координата светового маркера используется в последующих расчетах изменения расстояния между двумя маркерами. Точность измерения деформации данным методом составляет ориентировочно $\pm 4\%$ межстрочного расстояния или $0,008\%$ поля зрения ОЭП. С целью уменьшения масштабной ошибки непосредственно перед измерением проводится калибровка экстензометра по дополнительному световому маркеру. Для записи диаграммы растяжения в ПЭВМ через АЦП вводится также текущее значение усилия растяжения образца F .

Применение пик-детектора для предварительной обработки видеосигнала позволяет сократить количество вводимой в ПЭВМ информации от ~ 8 Мб/с при вводе полного монохромного 8-разрядного видеосигнала до ~ 30 Кб/с при вводе только амплитуды строчного видеосигнала глубиной 16 бит. Входной поток такой плотности сравнительно просто программно синхронизировать с работой ОЭП. Для синхронизации с видеосигналом из него выделяются кадровый и строчный синхросигналы, а также сигнал-признак четности полукадра. Применение платы АЦП с временем цикла порядка 12-14 мкс позволяет за время сканирования одной строки (~ 64 мкс) опросить дискретные признаки строчного и

кадрового синхроимпульсов, а также дважды считать амплитуду строчного видеосигнала, что позволяет усреднить получаемые данные с целью уменьшения ошибок от возможных случайных сбоев аналого-цифрового преобразователя и ввода уже на стадии опроса ОЭП. Так как полный кадр формируется как сумма двух последовательных полукадров, программное обеспечение экстензометра отслеживает дискретный признак четности/нечетности полукадра и организует данные в памяти компьютера в виде временного одномерного массива, размерность которого равна количеству строк в одном кадре. Одновременно с этим в паузах между полными кадрами вычисляются координаты световых маркеров, которые сохраняются для последующего использования. В паузах между полукадрами (~ 1.5 мс) производится коррекция встроенных часов компьютера, т.к. на время сканирования каждого полукадра все аппаратные прерывания запрещаются. Кроме этого, между первым и вторым полукадром на экране монитора может отображаться текущее состояние процесса измерения (в текстовом или графическом виде).

Производительности ПЭВМ класса i486 DX4-100 с операционной системой MS-DOS хватает для реализации поставленных задач. Хотя DOS и уступает в производительности и оснащенности таким промышленным операционным системам реального времени, таких как QNX, но лишена недостатков популярного семейства офисных ОС Windows 3.1/95/98/NT, с использованием которых реализация режима реального масштаба времени принципиально невозможна.

Лазерная установка автоматического контроля геометрии колес

Возможности современной оптоэлектронной, лазерной и вычислительной техники позволяют создать автоматическую установку контроля всех ~ 25 геометрических параметров цельнокатанных колес в потоке производства и при сдаче продукции [8, 9].

Установка (рис. 3а) содержит блок 1 датчиков положения поверхностей колеса, в котором установлены (рис. 3б) два лазерных дальномеров 2, сканирующая оптоэлектронная система 3, первая 4 и вторая 5 оптопара. На основании 6 установлены механизм 7 перемещения блока датчиков, кантователь 8 колес и механизм 9 подачи колес (рольганг или транспортер). Механизм 7 перемещения блока датчиков и блок 1 датчиков электрически связаны со схемой 10 обработки первичной информации по базе ЭВМ с подключенным к ней индикатором 11 результатов измерения. Опоры колеса в кантователе 8 выполнены в виде приводного 12 и не приводного 13 роликов, установленных с возможностью одновременного

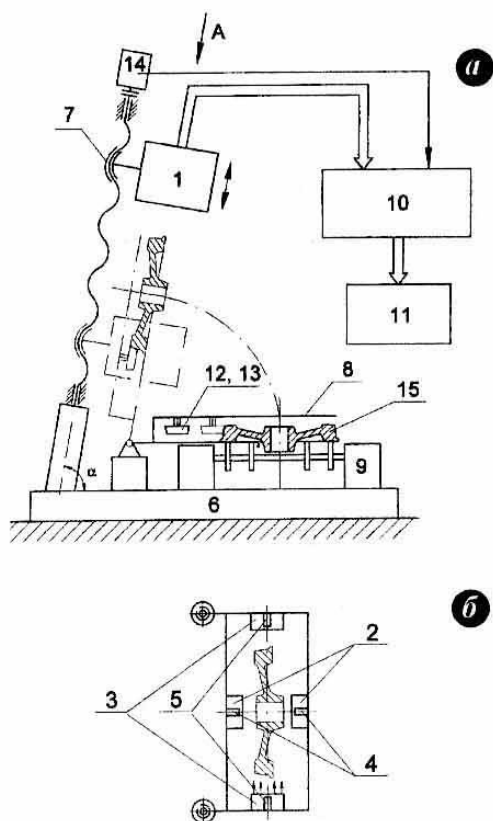


Рис. 3. Лазерная установка контроля геометрических параметров железнодорожных колес в потоке производства:

а - схема расположения оборудования; *б* - расположение лазерных и оптоэлектронных приборов в блоке датчиков

перемещения в направлении, перпендикулярном оси колеса 15. На неприводном ролике 13 закреплен датчик угла поворота. Блок 1 датчиков смонтирован на подвижной раме механизма 7, например винтового. С механизмом 7 связан преобразователь 14 перемещения блока 1 датчиков. Привод кантователя на рис. 3 не показан.

Установка работает следующим образом. В исходном положении блок датчиков находится в верхнем положении, опорные ролики находятся ближе к оси поворота кантователя, а кантователь горизонтален (показано сплошными линиями). Контролируемое колесо механизмом подачи колес вводится в кантователь, после чего включается привод перемещения опорных роликов. Ролики перемещаются до касания с колесом и стопорятся в таком положении.

После этого колесо кантуется на угол α и под действием собственного веса внутренней стороной прижимается к опорной поверхности кантователя, а поверхностью катания - к опорным роликам. Механизм 7 перемещения блока датчиков, установленный также под углом α к горизонту, начинает опускать блок датчиков вниз до упора. При движении блока 1 сигналы датчиков 2-5 и сигналы

о положении блока запоминаются ЭВМ, а после остановки блока вычисляются необходимые геометрические параметры. Кроме того, после остановки блока датчиков колесо приводным роликом поворачивается на 90 градусов.

Затем блок датчиков поднимается в верхнее положение, при этом повторяется снятие координат для измерений параметров колеса в другой плоскости. После этого вычисляются необходимые геометрические параметры в перпендикулярной плоскости, а также эксцентриситет отверстия относительно обода, внутренних диаметров обода относительно друг друга и половинок ступицы относительно друг друга. Результаты измерения выводятся на индикатор.

После занятия блоком датчиков верхнего положения кантователь опускает колесо на механизм подачи, опорные ролики отходят от колеса, которое уводится из зоны измерения механизмом подачи. Цикл измерения закончен и установка готова к приему следующего колеса.

В качестве лазерных дальномеров могут быть использованы известные дальномеры триангуляционного типа, импульсные или с модуляцией. Оптоэлектронная система 3 для контроля поверхности катания выполняется с использованием фотодиодных линеек или матриц и состоит из оптоэлектронного преобразователя и коллимированного источника света; поле зрения системы охватывает всю ширину обода для холодных колес или только гребень для горячих. Оптопары 3 и 4 собраны на основе свето- и фотодиодов.

Достоинствами предложенной лазерной установки контроля геометрии колес является ее органичная привязка к потоку транспортирования как горячих, так и холодных изделий, высокое быстродействие порядка 40 с, сравнимое с периодом подачи колес, и полный охват подлежащих измерению параметров, что позволяет оперативно настраивать прессопрокатную линию при смене плавки и замене инструмента деформации и выполнять текущий контроль геометрии горячих колес, а также сдаточный контроль готовых колес. Ожидаемая точность контроля геометрии колес $\pm(0,5...1)$ мм.

При контроле горячих колес отстройка от влияния собственного излучения проката на результат измерения достигается применением светофильтров. Влияние пыли на работу оптических приборов сводится к минимуму благодаря вертикальному расположению защитных полированных стекол, поскольку при этом пыль на них не задерживается.

Заключение

Накопленный в НИИАчермете на протяжении длительного времени опыт создания оптоэлектронных и лазерных средств измерения, а также опыт других организаций, фирм и предприятий позволяют рекомендовать описанные методы для их широкого использования в промышленных условиях разнообразных производств.

АО «НИИАчермет» готов обсудить с Заказчиком требования к новым изделиям и проконсультировать предприятия по целесообразности применения разработок инофирм. Справки по телефону (056) 744-73-81.

Библиографический список

- [1] *Ободан В.Я.* Автоматический контроль размеров сечения сортового проката и труб. М.: Металлургия, 1985. 95 с.
- [2] *Ободан В.Я., Чудновская Р.С., Шифрин М.Ю.* Современные методы и средства автоматического контроля геометрии катаных колец, колес и бандажей. Черная металлургия. Бюл. ин-та Черметинформация. 1991. №9. С. 5-14.

- [3] *Ободан В.Я.* Оптоэлектронные сканирующие преобразователи информации о геометрических параметрах сечения сортового проката труб. Дисс. ... докт. техн. наук. Харьков.: ХПИ, 1991. 467 с.
- [4] *А. с. №1716327 СССР.*
- [5] *А. с. №1768976 СССР.*
- [6] *Патент Украины №24589А.* 1998. Бюл. №5.
- [7] *Морозов П.Э.* Определение целесообразной формы и размеров световых маркеров при контроле механических свойств проката оптоэлектронным методом. // Вестник ХГПК. Вып. 56. 1999. С. 69-74.
- [8] *Патент РФ по заявке №97117671 от 03.11.97.*
- [9] *Патент Украины по заявке №97052133 от 08.05.97.*

© В.Я. Ободан, 2000 г.