

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПЛОСКОСТНОСТИ ЛИСТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКИ

В данной статье производится расчет параметров системы, выполняющей оценку плоскостности листового проката с применением дифракционной решетки. Полученные результаты расчетов применяются для настройки системы, производящей оценку плоскостности полосового проката бесконтактным методом. Метод основан на анализе дифракционной картины, падающей на готовую продукцию, которая расположена на поверочных столах. Составлены рекомендуемые параметры периода дифракционных решеток в зависимости от толщины полосы.

Плоскостность, листовой прокат, бесконтактные измерения.

The paper deals with the calculations of the system parameters, performing an assessment of rolled sheet's flatness using the diffraction grating. The results of calculations are used to configure the system, producing an assessment of rolled strip flatness using the contactless method. The method is based on the analysis of the diffraction pattern, falling on the finished products, which is located on the calibration tables. The recommended settings of the period of diffraction gratings depending on the bandwidth are composed.

Flatness, rolled sheet, non-contact measurements.

Введение.

Плоскостность является одной из важнейших характеристик листового проката, так как именно листы с ее высоким показателем применяются в производстве бытовой техники, авиастроении и автомобилестроении. Отсутствие средств контроля и регулирования плоскостности приводит к браку, который 3 % от общего объема произведенной продукции, что в свою очередь приводит к убыткам на предприятии.

Существует ряд технических решений в области оценки плоскостности проката [2], [3], [4], которые измеряют плоскостность во время технологического процесса. К факторам, негативно влияющим на точность оценки плоскостности проката во время процесса прокатки, относятся: высокие температуры (станы горячей прокатки), испарения, вибрации полосы, изменяющееся во времени натяжение полосы, высокие скорости прокатки и другие факторы.

Альтернативным способом является метод оценки плоскостности проката, описанный в ГОСТ РФ 26877 [1]. Согласно стандарту, готовый листовой прокат располагают на плоской поверочной поверх-

ности, которая может являться поверочным столом, затем рабочий персонал при помощи ручных средств измерений (линейки, штангенциркули и др.) непосредственно производят измерения ровности поверхности проката. Длительность процесса оценки является основным недостатком при данном режиме работы.

Основная часть.

С целью исключения неблагоприятных факторов, присутствующих во время прокатки, и оптимизации времени проведения измерений, предлагается бесконтактный метод, автоматизирующий процедуру оценки плоскостности листового проката, модель которого представлена на рис. 1.

Основными элементами в данной измерительной установке являются:

- источник лазерного излучения;
- дифракционная решетка;
- видеокамера для захвата изображений поверхности полосы.

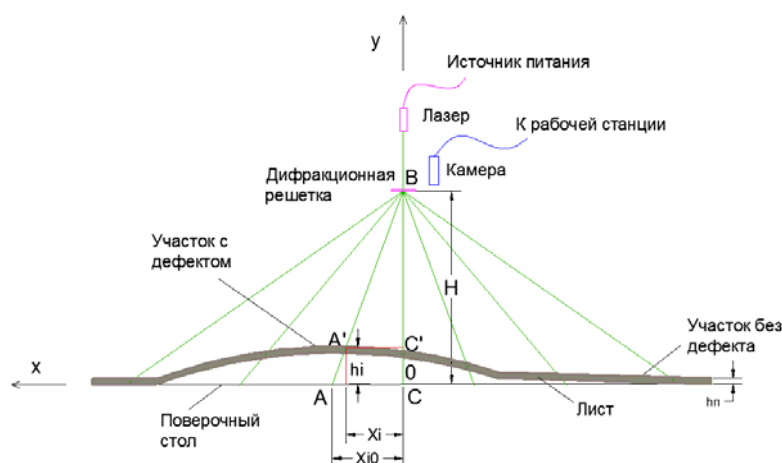


Рис. 1. Модель метода измерения

Для достижения высокой точности оценки плоскостности полосы необходимо выполнить следующее условие: источник лазерного излучения и дифракционная решетка должны быть строго перпендикулярны поверочной поверхности.

При создании модели был принят ряд допущений:

- пренебрегаем влиянием вибраций на точность измерений;
- считаем, что поверхность стола идеально плоская;
- примем освещенность помещения постоянной с определенной интенсивностью излучения;
- полагаем, что интенсивность точек дифракционной картины уменьшается равномерно и прямолинейно.

Оценка плоскостности проката по разработанному методу производится следующим образом: пучок лазерного излучения при прохождении через двухмерную дифракционную решетку распадается на ряд лучей, которые падают на лист металла, в результате чего на его поверхности наблюдается дифракционная картина. По расположению точек дифракционной картины и расстоянию между ними можно судить о плоскостности листа, причем амплитуда отклонения нижней поверхности листа от горизонтальной плоскости определяется по формуле:

$$hi = BC - BC' - h_n = BC - \frac{BC \cdot |X_i|}{X_i 0} - h_n, \quad (1)$$

где h_n – толщина полосы; BC – расстояние от дифракционной решетки до полосы; i – номер максимума дифракционной решетки.

Аналогично рассчитываются амплитуды отклонений других точек дифракционной картины.

Из формулы (1) и рис. 1 видно, что перед проведением измерений необходимо произвести подготовку, которая заключается в измерении расстояния от дифракционной решетки до поверочного стола, также для возможности проведения самих измерений необходимо знать массив расстояний точек дифракционной картины от центральной точки этой картины ($X_i 0$), поэтому нужно провести оценку $X_i 0$ на поверочном листе без контролируемого материала. Данную процедуру можно проводить раз в смену или с большей периодичностью.

Согласно формуле (1) следует учитывать и толщину полосы, данный параметр будет вводиться в рабочую станцию перед проведением измерений.

Выбор количества точек дифракционной картины является важным этапом проектирования измерительной установки, так как именно их количество определяет точность проводимых измерений. С ростом этого показателя увеличивается точность, но снижается быстродействие системы и интенсивность свечения лазерного излучения.

Для определения оптимального количества точек дифракционной картины, необходимых для проведения высокоточных измерений, составим целевую

функцию, с помощью которой будем определять необходимые параметры измерительной системы:

$$m = \frac{d \cdot \frac{b_n}{H} \cdot \cos \alpha}{\lambda} \rightarrow \max, \quad (2)$$

где m – количество точек измерения (максимумов дифракционной решетки); d – период дифракционной решетки; H – расстояние от дифракционной решетки до поверочного стола; λ – длина волны лазерного излучения; α – угол между линией BC и гипотенузой, проведенной через последнюю точку дифракционной картины; b_n – половина ширины полосы.

Для целевой функции опишем ограничения:

- $0,5 \text{ м} < H < 2 \text{ м}$;
- $450 \text{ нм} < \lambda < 650 \text{ нм}$;
- $0,5 \text{ м} < b_n < 1 \text{ м}$;
- $10^\circ < \alpha < 80^\circ$.

Следует учитывать распределение интенсивности яркости точек дифракционной картины, которое рассчитывается по формуле:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin(kb\alpha/2)}{(kb\alpha/2)} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin(Nkd\alpha/2)}{\sin(kd\alpha/2)} \right)^2, \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность света в центре дифракционной решетки; k – волновое число; b – ширина щели; N – число щелей [5].

Согласно формуле (2) интенсивность яркости точек снижается нелинейно от центрального максимума дифракционной картины, поэтому максимальная яркость достигается лишь в одной точке и уменьшается у точек более высоких порядков. В связи с чем точки дифракционной картины, расположенные ближе к центральной, обладают большей площадью.

Очевидно, что для оптимального расчета параметров дифракционной решетки необходимо принять расстояние от дифракционной решетки до поверхности стола за постоянную величину ($H = 1,2 \text{ м} = \text{const}$).

Произведем расчет синуса угла между перпендикуляром, проходящим через центральную точку дифракционной картины и гипотенузой, проходящей через десятую точку:

$$\sin \alpha = \frac{X_{10} 0}{\sqrt{X_{10} 0^2 + H^2}},$$

где $X_{10} 0$ – расстояние от центральной точки дифракционной картины до точки десятого максимума; H – расстояние от дифракционной решетки до поверочного стола.

$$\sin \alpha = \frac{1,7}{\sqrt{1,7^2 + 1,2^2}} = 0,82.$$

Найдем необходимый период из условия появления максимумов дифракционной картины при прохождении волны через дифракционную решетку:

$$d = \frac{m\lambda}{\sin \alpha} = \frac{10 \cdot 532 \cdot 10^{-9}}{0,82} = 6,49 \cdot 10^{-6} \text{ м.} \quad (5)$$

Проведем анализ дифракционных картин, получающихся при следующих периодах дифракционной решетки $d_1 = 6 \cdot 10^{-6}$ м, $d_2 = 6,3 \cdot 10^{-6}$ м, $d_3 = 6,5 \cdot 10^{-6}$ м, $d_4 = 6,7 \cdot 10^{-6}$ м, $d_5 = 7 \cdot 10^{-6}$ м.

Таблица

Результаты расчета дифракционной картины

$\alpha_2, 10^{-6} \text{ м}$	6	6,3	6,5	6,7	7
$\alpha_1, ^\circ$	5,09	4,84	4,69	4,55	4,36
$X_{10}, \text{ м}$	0,107	0,101	0,099	0,096	0,091
$\alpha_2, ^\circ$	10,21	9,72	9,42	9,14	8,74
$X_{20}, \text{ м}$	0,216	0,206	0,199	0,193	0,185
$\alpha_3, ^\circ$	15,43	14,67	14,21	13,78	13,18
$X_{30}, \text{ м}$	0,331	0,314	0,304	0,294	0,281
$\alpha_4, ^\circ$	20,77	19,74	19,11	18,52	17,69
$X_{40}, \text{ м}$	0,455	0,431	0,416	0,402	0,383
$\alpha_5, ^\circ$	26,32	24,92	24,16	23,39	22,33
$X_{50}, \text{ м}$	0,594	0,589	0,538	0,519	0,493
$\alpha_6, ^\circ$	32,14	30,44	29,41	28,45	27,13
$X_{60}, \text{ м}$	0,754	0,705	0,676	0,650	0,615
$\alpha_7, ^\circ$	38,36	36,24	34,95	33,77	32,14
$X_{70}, \text{ м}$	0,950	0,879	0,839	0,802	0,754
$\alpha_8, ^\circ$	45,18	42,50	40,90	39,44	37,44
$X_{80}, \text{ м}$	1,208	1,099	1,039	0,987	0,919
$\alpha_9, ^\circ$	52,94	49,46	47,44	45,61	43,16
$X_{90}, \text{ м}$	1,589	1,403	1,307	1,226	1,125
$\alpha_{10}, ^\circ$	62,46	57,61	54,93	52,56	49,46
$X_{100}, \text{ м}$	2,300	1,892	1,709	1,560	1,403

Для лучшего представление полученных данных построим плоскость, на которой отметим точки дифракционной картины при различных периодах решеток, по оси абсцисс будут различные значения периода решеток, по оси ординат – ширина поверочного стола, причем 0 по оси ординат соответствует его середине (рис. 2).

Для выбора периода решетки (d) необходимо учитывать и ширину прокатываемой полосы. Например, на ПАО «Северсталь» применяются два стана горячей прокатки:

- стан 1700;
- стан 2000.

Для полосы шириной два метра особых различий в дифракционной картине при $6 \cdot 10^{-6} < d <$

$< 6,6 \cdot 10^{-6}$ м не наблюдается, в данных случаях будет производиться 14 измерений на толщину полосы, оптимальное расположение максимумов достигается при $d = 6 \cdot 10^{-6}$ м. Для проведения измерений полос с меньшей шириной следует увеличивать период решетки, что повысит точность проведения измерений в целом. Для полос шириной 1,7 м наилучшим является выбор дифракционной решетки с периодом $d = 6,5 \cdot 10^{-6}$ м.

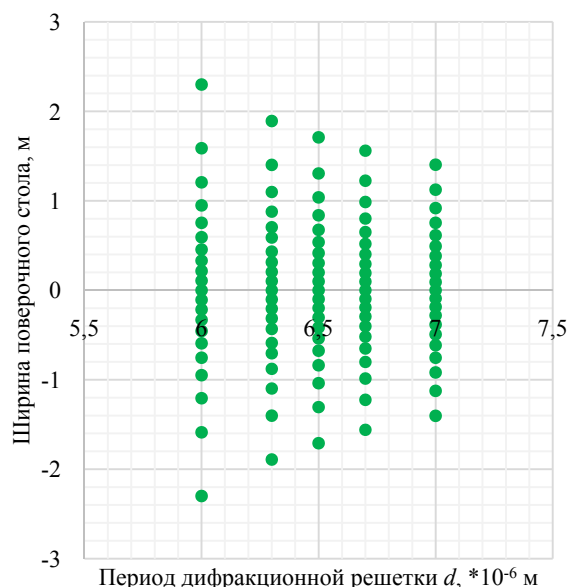


Рис. 2. Зависимость дифракционной картины от периода решетки

На основании полученных данных распределения точек дифракционных картин в зависимости от периода дифракционной решетки составлено аппроксимированное уравнение средствами Matlab, которое носит рекомендательный характер при выборе периода решетки в зависимости от ширине полосы:

$$b_n = -0,06 d^3 + 1,2 d^2 - 8,2 d + 20. \quad (6)$$

Уравнение характеризуется максимальной точностью при ширине полосы от 1 до 2 м (рис. 3).

Выводы:

1. Предложен бесконтактный способ оценки амплитуды неплоскостности листового проката на поверочных плитах, основанный на дифракции света, с применением источника лазерного излучения, дифракционной решетки, и устройства захвата изображения.
2. Расчет амплитуды неплоскостности проката с учетом его толщины ведется по формуле (1).
3. Рассчитаны параметры дифракционной решетки для листового проката шириной от 2 до 1 м.

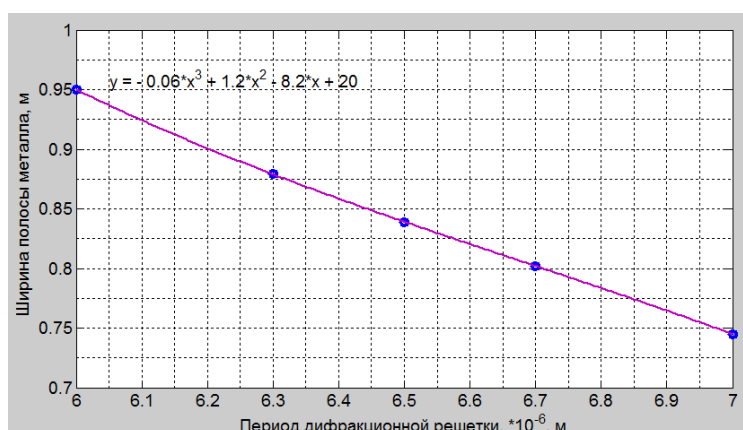


Рис. 3. Результаты аппроксимации Matlab

Литература

1. ГОСТ 26877-91. Металлопродукция. Методы измерений отклонений формы. – М.; взамен ГСТ 26877-86, введен с 01.07.92.
2. Патент 2311613 РФ, МПК G01B 07/34, МПК G01B 21/20, МПК B21B 38/02. Способ определения плоскостности движущегося листа материала / В. А. Агуреев, С. В. Трусилло, патентообладатель В. А. Агуреев, С. В. Трусилло; заявл. 17.08.06г, опубл. 27.11.07г.
3. Патент 2486979 РФ, МПК B21B 38/06, МПК B21B 38/02. Измерительный валок для определения дефектов

плоскостности ленты (варианты) и способ определения дефектов плоскостности ленты / Андреас НОЕ, патентообладатель «БВГ БЕРГВЕРК-УНД ВАЛЬЦЕРК-МАНИНЕНБАУ ГМБХ»; заявл. 29.06.09 г., опубл. 10.01.11г.

4. Патент 2267371 РФ, МПК B21B 38/02. Способ определения дефектов плоскостности / Тьерри Малар, Жан-Поль Фор, патентообладатель «ВЭ КЛЕСИМ»; заявл. 10.11.03 г., опубл. 10.01.06 г.

5. Сивухин, Д. В. Общий курс физики / Д. В. Сивухин. – М., 1980.

УДК 004.932.2

А. А. Орлов, А. В. Астафьев, Д. Г. Привезенцев

Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМА ЛОКАЛИЗАЦИИ СИМВОЛЬНОЙ МАРКИРОВКИ ТРУБНОЙ ПРОДУКЦИИ НА ОСНОВЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДВУМЕРНОГО ПОИСКА УСРЕДНЕННОГО МАКСИМУМА

Работа выполнена в рамках государственного заказа

В статье обоснована актуальность проведенного исследования и определена область применения разработанного алгоритма. Рассмотрена частная задача идентификации трубной продукции на ОАО «Выксунский металлургический завод». Приведено математическое описание разработанного алгоритма. Описано внедрение алгоритма локализации в систему автоматической идентификации маркировки и показано его место в ней. Рассчитаны показатели эффективности системы автоматической идентификации маркировки с учетом работы внедренного алгоритма.

Маркировка, локализация, идентификация, поиск усредненного максимума.

The article proves the relevance of the conducted research and determined the scope of application of the developed algorithm. The specific task of identification of pipe products at public corporation "Vyksa Steel Works" is considered. The mathematical description of the algorithm is given. The implementation of the algorithm of localization in the system of automatic identification of marking is described and shown its place in it. The indexes of efficiency of the system for the automatic identification marking including an embedded algorithm are calculated.

Identification marking, localization, identification, search of an average maximum.

Введение.

В настоящее время любое крупное производственное предприятие ставит перед собой цель – повышение качества выпускаемой продукции. На со-

временном этапе развития общества добиться этого возможно с помощью применения новых информационных технологий для автоматизации производств. Одним из наиболее бурно развивающихся