

УДК 669.002.56; 669:658.562

Л.И. Криволапова, О.А. Кравцова, Н.А. Кравцов, С.Д. Коткин

Система оценивания качества поверхности металлопроката

Рассмотрены предпосылки к созданию автоматизированной системы диагностики поверхностной структуры металлопроката. Приведена структура предлагаемой системы диагностики, основными компонентами которой являются модули: получения видеоизображения поверхности металлопроката, определения фрактальной размерности выделенного контура дефекта, местоположения дефекта.

Ключевые слова: фрактальная размерность, поверхностный дефект металлопроката.

1. Актуальность темы. Задача определения поверхностных дефектов металлопроката актуальна для большинства металлургических заводов. Причем данная задача актуальна и для начальной стадии изготовления металлопроката, так как дефекты, «зародившиеся» при разливке металла на машине непрерывного литья заготовок, проявляются на последующих стадиях производства металлопроката (рис. 1).

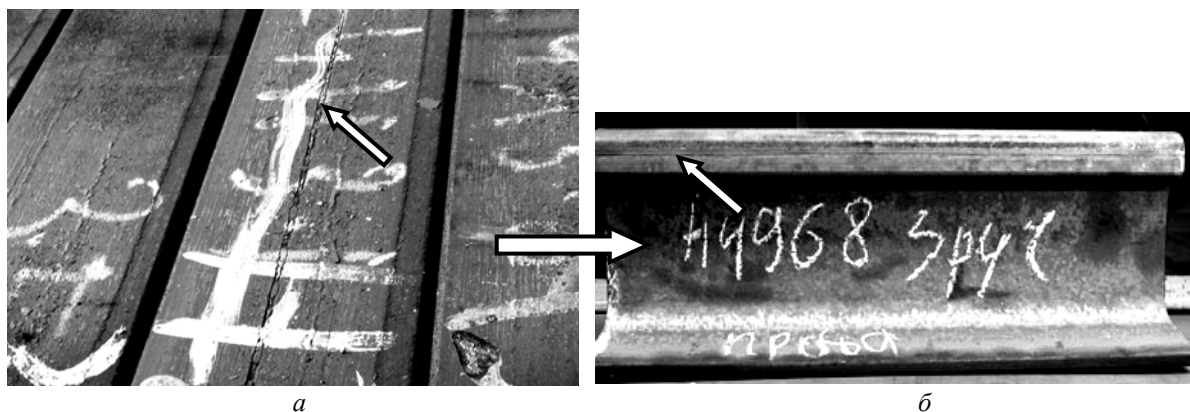


Рис. 1. Пример наследования дефекта металлопроката: *а* – заготовки с трещиной, заполненной частично металлом и шлаковыми включениями; *б* – раскатанная трещина на поверхности рельса

Успешное решение задачи оценивания качества поверхности металлопроката во многом определяется используемым методом обнаружения поверхностных дефектов, их распознаванием, последующим расчётом индивидуальных характеристик обнаруженных поверхностных дефектов металлопроката. В настоящее время для диагностики структуры металлопроката чаще всего применяется метод ультразвукового контроля [1], основанный на изменении характеристик звуковой волны при прохождении через дефектные структуры металла. Основным недостатком данного метода является достоверное обнаружение дефектов только в узком диапазоне геометрических размеров. Для обнаружения дефектов, не попавших в ограниченный диапазон геометрических размеров, используется визуальный осмотр контролером управления технического контроля, которым при обработке большого количества информации по оцениванию качества поверхности металлопроката могут быть допущены субъективные ошибки.

Использование концепции фракталов в металлургии и материаловедении переводит понятие о структуре на более высокий уровень – уровень динамических структур, определяющих конечные свойства продукта [2]. Исследовательские разработки в направлении изучения фрактальных свойств поверхностных и внутренних структур различных металлов и их сплавов, методы расчета фрактальной размерности поверхности металла, а также расчеты зависимости количественных показателей микроструктуры высокопрочных сплавов от параметров термической обработки позволяют говорить о возможности использования данного подхода в задаче диагностирования поверхностной структуры металлопроката.

2. Анализ методов определения фрактальной размерности замкнутого контура. Традиционные методы определения фрактальной размерности изломистых линий [2–5] посредством расчета количества элементарных отрезков, по своей сути, являются достаточно трудоемкими. Также необходимо отметить, что их нельзя напрямую использовать в системах оперативного оценивания поверхностных дефектов высокотемпературного металлопроката. Данные методы могут быть применены к изломистым замкнутым контурам поверхностных дефектов металлопроката после предварительного преобразования их во временные ряды данных. Правомочность предлагаемого преобразования подтверждена результатами проведенного сравнительного анализа значений, полученных различными методами расчета фрактальной размерности контура, преобразованного во временные ряды данных, и эталонной модели, фрактальная размерность которой известна заранее. В качестве эталонной модели использована береговая линия Великобритании, фрактальная размерность которой согласно источнику [2] равна $D \sim 1,3$, в источнике [3] ее фрактальная размерность, найденная по методу Херста, составляет $D \sim 0,7$. Оценки фрактальной размерности эталонной модели представлены в табл. 1, погрешность расчета составляет менее 1%, что является приемлемым для данной исследовательской задачи.

Таблица 1

Фрактальная размерность эталонной модели

Наименование методов	$D \sim 1,3$		
	Результ. моделир.	Отклонение	Погрешн., %
Метод Херста ($D \sim 0,7$)	0,68	0,02	0,03
Метод отрезков	1,25	0,05	0,04
Метод вертикального сечения	1,25	0,05	0,04
Метод минимального покрытия	1,26	0,04	0,03

Выбор метода расчета фрактальной размерности контура поверхностного дефекта для использования в автоматизированной системе контроля качества поверхности металлопроката осуществлялся с учетом недостатков исследуемых методов:

1) главным условием получения достоверных значений фрактальной размерности методом Херста является обязательное наличие большого объема анализируемой выборки (порядка несколько сотен);

2) метод покрытия контуров изображения поверхностных дефектов единичными отрезками, а также метод расчета фрактальной размерности по вертикальному сечению профиля характеризуются повышенной сложностью алгоритмов подсчета количества используемых единичных отрезков для покрытия ломаной линии;

3) при реализации метода минимального покрытия используются простые арифметические операции: определение минимального и максимального значений в подинтервале разбиения, их разности и накопленной суммы на всем интервале текущего разбиения, тем самым уменьшается сложность алгоритма расчета фрактальной размерности.

Для создания эталонной шкалы поверхностных дефектов металлопроката, принадлежащих к различным классам, были рассчитаны значения фрактальной размерности с преобразованием изломистых замкнутых контуров во временные ряды данных. При этом разбиение осуществлялось по краевым точкам дефекта, которые соответствуют минимальному и максимальному значениям по оси абсцисс в декартовых координатах.

В табл. 2 представлены наиболее часто встречающиеся поверхностные дефекты рельсового металлопроката ОАО «Новокузнецкий металлургический комбинат» и соответствующие им расчетные значения фрактальных размерностей. Точки, в которых происходит разрыв замкнутых контуров, выделены маркерами на изображениях вх табл. 2.

Результат численного моделирования свидетельствует о следующем: каждому типу поверхностного дефекта соответствует свой диапазон значений фрактальной размерности, что способствует созданию эталонной шкалы и использованию данного подхода в автоматизированной системе диагностики качества поверхности металлопроката.

3. Описание модернизированной системы диагностики. С опорой на полученные результаты разработан алгоритм функционирования системы контроля качества поверхности металлопроката, в рамках которого выполняются следующие операции:

• *получение изображений* металлографических структур: рельс, поступающий на стеллаж, с помощью устройств, позволяющих проводить фиксацию быстро движущихся высокотемпературных поверхностей, подвергается видеосъемке как по горизонтали, так и по вертикали (видеоснимки в вертикальной проекции соответствуют секущим плоскостям рис. 2); полученные снимки поступают на устройство распознавания микроструктуры фиксируемого объекта и далее через коммутатор видеовхода на рабочую станцию, частота получения видеокадров (величина h , рис. 2) определится в зависимости от требований, предъявляемых к марке контролируемого металлопроката по ГОСТу;

Таблица 2

Основные поверхностные дефекты рельсового металлопроката

Тип дефекта	Контур дефекта	Составные части контура	Значен. фракт. размерн.
Пузырь			$D_1 = 1,25$ $D_2 = 1,26$ $D_\mu = 1,26$
Морщина			$D_1 = 1,91$ $D_2 = 1,47$ $D_\mu = 1,69$
Закал			$D_1 = 1,64$ $D_2 = 1,21$ $D_\mu = 1,42$
Трещина			$D_1 = 1,68$ $D_2 = 1,82$ $D_\mu = 1,75$

a – верхний контур; \bar{b} – нижний контур; D_1, D_2 – значения фрактальной размерности для верхнего и нижнего контуров; D_μ – среднее значение фрактальной размерности дефекта

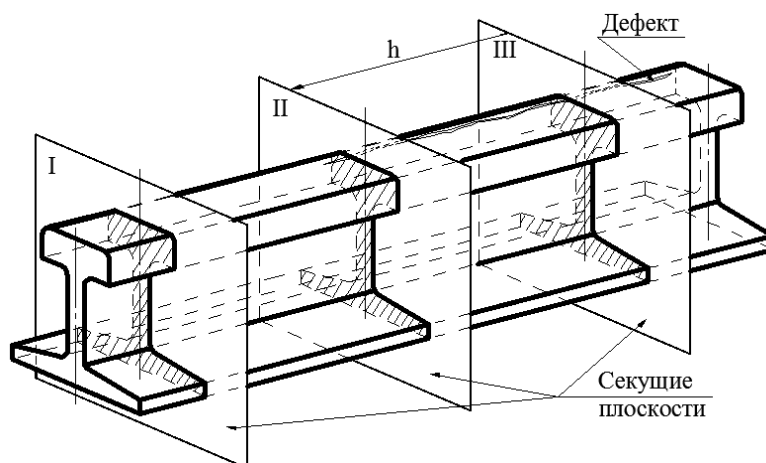


Рис. 2. Схема проведения видеофиксации поверхности металлопроката

- *предварительная обработка*: изображения, поступившие с микроскопа, подвергаются изменению контрастности, сглаживанию шумов, подчеркиванию границ и переводу полученных на вертикальных видеоснимках контуров поверхности металлопроката во временные ряды данных $x(l)$, где $x(l)$ – текущее значение данного во временном ряде $l = \overline{1; L}$;

- *определение координат* местоположения дефекта с использованием индекса вариации, определяемого в соответствии с выражением $\mu(l) = -a_l$, где a_l – параметр уравнения регрессии

$$y(l) = a_l n + b, \text{ полученного по расчетным данным } A_n(l) = \sum_{\omega_m=1}^{\overline{L}} \left(x(l)_m^{\max} - x(l)_m^{\min} \right), \text{ переведенным в}$$

логарифмический масштаб, где $x(l)_m^{\max}, x(l)_m^{\min}$ – максимальное и минимальное значение в ω_m -й подынтервал, где $\omega_m = 1; \frac{\overline{L}}{m}, \frac{\overline{L}}{m}$ – число подынтервалов при конкретном m – числе данных в n -м разбиении, n – порядковый номер разбиения временного ряда данных на подынтервалы. Координаты дефекта фиксируются в момент перехода значения индекса вариации $\mu(l)$ с положительного на отрицательное (рис. 3);

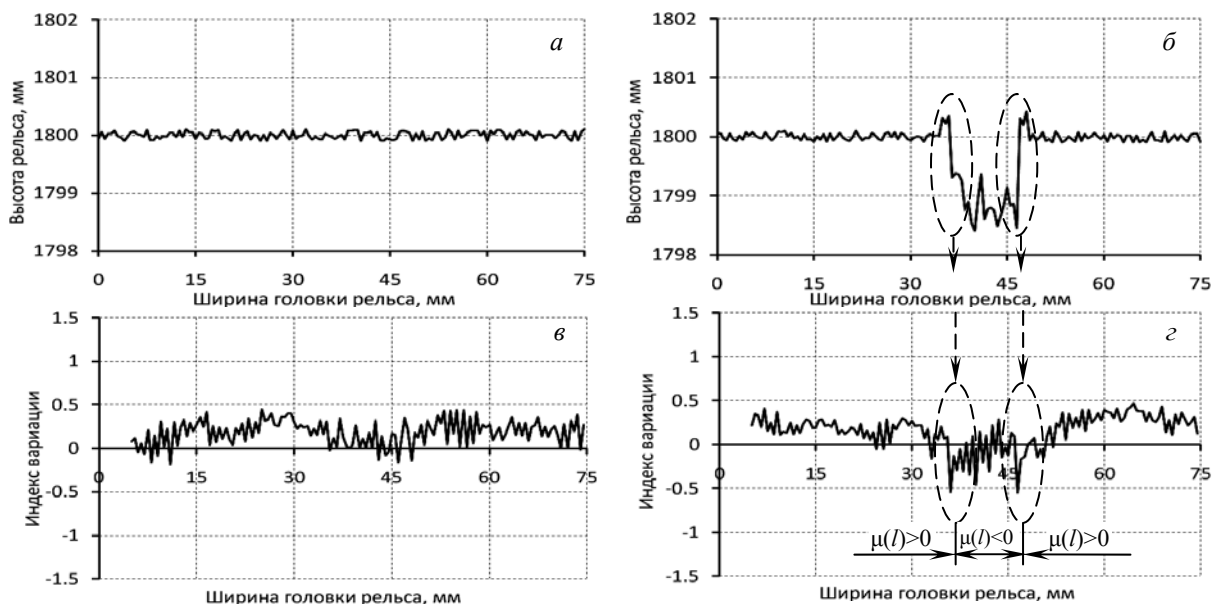


Рис. 3. Реализации временных рядов данных вертикальных сечений участков поверхности металлопроката и соответствующие им графики индекса вариации: *a* – график, соответствующий поверхности без дефекта (сечение I, рис. 2); *б* – график, соответствующий поверхности с дефектом типа «трещина» (сечение II, рис. 2); *в, з* – динамика индекса вариации

- *расчет фрактальной размерности*: по совокупности полученных координат формируется контур дефекта с последующим преобразованием его в два временных ряда данных, по которым рассчитывается значение фрактальной размерности поверхностного дефекта в соответствии с формулой $D_\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 D_{\mu i}$, где $D_{\mu i} = \mu_i + 1, i = 1, 2$. Величина μ_i определяется по приведенным выше операциям;

- *конкретизация* типа поверхностных дефектов по значению D_μ по эталонной шкале дефектов, которая включает виды поверхностных дефектов, максимально допустимые геометрические размеры устранимых дефектов, а также соответствующие различным типам дефектов значения фрактальной размерности. В случае если фрактальная размерность вновь выявленного дефекта превышает фрактальную размерность устранимых дефектов, делается вывод о типе дефекта и возможности его устранения;

• *представление информации* на рабочей станции об обнаруженных дефектах и их местоположении; при этом выделены устранимые дефекты и дефекты, которые не подлежат устранению.

Предлагаемая система оценивания качества поверхности металлопроката позволит повысить эффективность контроля поверхностной структуры металлопроката, тем самым исключить субъективные ошибки контролера отдела технического контроля. Обнаружение поверхностных дефектов на ранних стадиях изготовления металлопроката дает возможность своевременно корректировать ход технологического процесса изготовления металлопроката.

Литература

1. Козырев Н.А. Железнодорожные рельсы из электростали / Н.А. Козырев, В.В. Павлов, Л.А. Годик, В.П. Дементьев. – Новокузнецк: Новокузнецкий полиграфкомбинат, 2006. – 388 с.
2. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении / В.С. Иванова, А.С. Баланкин, И.Ж. Бунин. – М.: Наука, 1994. – 382 с.
3. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Дубовиков М.М. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов / М.М. Дубовиков, Н.В. Крянев, А.В. Старченко // Вестник РУДН, серия прикладная и компьютерная математика. – Т. 3. – 2007. – № 1. – С. 30–44.
5. Торхов Н.А. Определение фрактальной размерности поверхности эпитаксиального *n*-GaAs в локальном пределе / Н.А. Торхов, В.Г. Божков, И.В. Ивонин, В.А. Новиков // Физика и техника полупроводника. – 2009. – Т. 43, вып. 1. – С. 38–45.

Криволапова Людмила Ивановна

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматизации и информационных систем
ГОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» (СибГИУ), г. Новокузнецк
Тел.: (3843) 74-88-09

Кравцова Ольга Александровна

Канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. технологического обучения и автоматизации производственных процессов ГОУ ВПО «Кузбасская государственная педагогическая академия» (КузГПА), г. Новокузнецк
Эл. почта: kravtsova_olga@kuz.ru

Кравцов Николай Александрович

Инженер I категории ООО «Евраз-техника», Региональный центр эксплуатации АСУ ТП, г. Новокузнецк
Эл. почта: kravtsov_na@kuz.ru

Коткин Сергей Дмитриевич

Канд. пед. наук, доцент каф. технологического обучения и автоматизации производственных процессов ГОУ ВПО «Кузбасская государственная педагогическая академия» (КузГПА), г. Новокузнецк
Эл. почта: Kotkin@gmail.com

Krivilapova L.I., Kravtsova O.A., Kravtsov N.A., Kotkin S.D.

Method of estimation of metal-roll surface quality

This article considers conditions for creation of a diagnostic system of metal-roll surface structure. The structure of this system is described. It contains the following elements: video image acquisition of metal-roll surface, designation of fractal dimension of earmarked defect outline, defect location.

Keywords: fractal dimension, defect of the metal-roll surface.