

ПРИМЕНЕНИЕ МАРКОВСКИХ ПОЛЕЙ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕКСТУРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ СТАЛЕЙ

Спорыхин В.Я., Меркулов Д.А., Иванова К. Е.
Донецкий национальный технический университет, г.Донецк
кафедра автоматизированных систем управления
E-mail: keisy3@yandex.ru

Abstract

Sporihin V. Y., Merkulov D. A., Ivanova K. E. Method Markov random fields of recognition of structures in metallurgy. The basic problems of the analysis and classification of the image are considered. Methods of recognition of structures and existing systems of the analysis of the image of a cut of steel are analyzed. Development of computer system of the analysis of the image of a cut of steel is proved.

Общая постановка проблемы. Черные металлы являются основным материалом, который используют в различных отраслях промышленности: в машиностроении, авиастроении и судостроении, для изготовления металлоконструкций для промышленного и жилищного строительства, транспортных коммуникаций и техники.

Металлургические заводы Донбасса предоставляют свою продукцию не только в страны бывшего СНГ, но и за рубеж. При этом продукция должна быть качественной, чтобы не потерять клиентов и сохранить свою конкурентоспособность на мировом рынке. Поэтому задача получения комплекса свойств того или иного металла становится еще более актуальной, так как позволяет найти равноценный отечественный заменитель иностранным маркам стали как по составу, так и по свойствам. Одним из самых важных аспектов решения данной задачи является контроль качества выпускаемой продукции. Однако в условиях Донецка, например на ЗАО ММЗ «Истил (Украина)» существует только одна центральная лаборатория, которая осуществляет контроль соответствия выплавленной стали заказа покупателя. К тому же контроль проводится по ограниченному числу характеристик путем визуального сравнения проверяемого образца с эталоном. Таким образом, создание автоматизированной системы металлографического анализа срезов сплавов на основе обработки их изображений является актуальной задачей.

Постановка задач исследования. Для построения системы металлографического анализа срезов стали необходимо решить следующие основные задачи:

- выполнить анализ производственного цикла выплавки стали и проанализировать процесс контроля качества выпускаемой металлургической продукции;
- выделить основные этапы металлографического анализа и проанализировать основной из них – этап определения размера зерна стали;
- определить наиболее оптимальные методы распознавания текстуры металлографического изображения среза;
- выбрать наиболее оптимальные методы определения размера зерна стали.

Решение задач и результаты исследования. Процесс выплавки стали начинается с заказа сплава и заканчивается проверкой готовой продукции. Этот процесс включает следующие основные этапы:

1. Оформление предварительного заказа на необходимую марку стали и с соответствующих требований к ней. Передача основных требований к продукции в технический отдел.
2. Отделом договорной документации составляется договор с заказчиком. Параллельно составляется спецификация на выплавку заказа, где указываются все требования к продукции.

3. Далее спецификация передается в цех на выплавку заказа. После выплавки отбираются образцы продукции для контроля на соответствие спецификации, которые передаются в центральную контрольную лабораторию.
4. Результаты проведения анализа формируются в виде протокола испытаний, который передается в цех производства и отгрузки готовой продукции. Сертификатчики цеха вносят данные из протокола испытаний в сертификат качества.
5. Далее лаборатория вносит данные анализа в статистическую базу.

Контроль качества выпускаемой продукции еще называется металлографическим анализом, который включает в себя несколько этапов. Среди них можно выделить контроль документации на продукцию (спецификация, сертификат и т. д.), отбор проб для анализа, определение химических, механических, геометрических параметров пробных срезов. Состав анализа, перечень основных его этапов и их последовательность представлена на рис. 1.

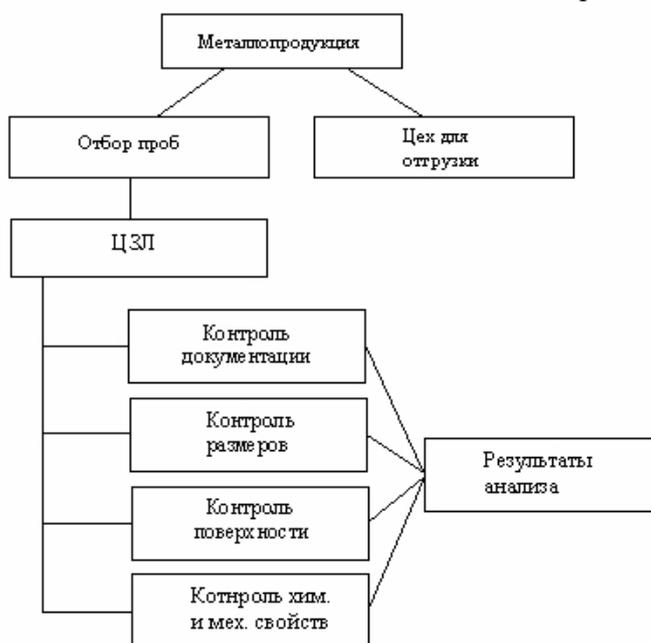


Рисунок 1 – Типовая схема организации металлографического анализа.

Рассмотрим более детально последовательность проведения металлографического анализа. Основным этапом металлографического исследования является металлография – позволяет получить информацию о морфологии элементов структуры [2]. Этапы металлографии:

1. Электронная микроскопия. Для исследования металлов применяется обычно сканирующий электронный микроскоп, в котором пучок электронов с помощью системы развертки сканирует поверхность образца.

2. Микромеханические испытания. Основной характеристикой металлов и сплавов являются их механические свойства, т. е. способность выдерживать нагрузки и деформироваться. Разработано большое количество стандартных методов механических испытаний.

3. Выявление и определение величины зерна сплава. На этом этапе определяются:
 - величина действительного зерна после горячей деформации или любой термической обработки;
 - склонность зерна к росту – определение величины зерна после нагрева при температуре и времени выдержки, установленных нормативно-технической документацией на стали и сплавы;

- кинетика роста зерна – определение величины зерна после нагрева в интервале температур и времени выдержки, установленных нормативно-технической документацией на стали и сплавы.

Остановимся на этапе определения роста зерна. Любой метод этого этапа основывается на анализе микрофотографии среза пробы контролируемой продукции. Следовательно, прежде чем выполнять анализ фотографии, необходимо выполнить распознавание текстуры изображения.

Текстуры являются важной характеристикой изображений естественных объектов и важным элементом зрительного восприятия. Машинному анализу текстурных изображений посвящено значительное количество исследований, существенную часть которых занимает проблема сегментации изображений по текстурным признакам.

Для распознавания текстур металлографических изображений наиболее предпочтительно применение метода случайных Марковских полей [3,4].

Марковские модели являются мощным средством моделирования распознавания образов. По своей природе Марковские модели позволяют учитывать непосредственно пространственно-временные характеристики сигналов, поэтому они получили широкое применение в распознавании изображений.

Введем основные понятия, необходимые для рассмотрения данного метода:

- Поле зрения – это произвольное конечное множество. Обозначается символом T . Наиболее часто встречается поле зрения в виде прямоугольного участка двумерной целочисленной решетки:

$$\{(i, j) | 0 \leq i < I, 0 \leq j < J\} \tag{1}$$

- Пиксель – элемент поля зрения. Элементами поля зрения являются натуральные числа $T = \{1, 2, \dots, m\}$.

- Палитра – произвольное конечное множество как и поле зрения. Обозначается символом $X = \{1, 2, \dots, n\}$.

- Цвет – это элементы палитры.

- Изображение на поле зрения T с палитрой X – это функция $x_t: T \rightarrow X$, которая каждому пикселю поля зрения ставит в соответствие какой-то цвет из палитры. Сужение этой функции на подмножество поля зрения $\tau \subset T$ обозначается x_τ , а значение функции x_t в пикселе $t \in T$ обозначим как x_t .

- Разметка поля зрения T на l сегментов – это функция $k_t: T = \{1, 2, \dots, l\}$.

При этом множество $\{1, 2, \dots, l\}$ называется множеством меток и обозначается символом K .

Если на множестве всех изображений $X^T = \{x_t | x_t: T \rightarrow X\}$ задана случайная величина N , то эту случайную величину называют случайным полем.

Марковскими называются все случайные поля, распределение вероятностей которых имеет следующий вид:

$$p(x_t) = z \cdot \exp \sum_{\tau \in \mathfrak{Z}} \varphi_\tau(x_\tau) \tag{2}$$

$$z = \frac{1}{\sum_{x_\tau \in X^\tau} \exp \sum_{\tau \in \mathfrak{Z}} \varphi_\tau(x_\tau)} \tag{3}$$

\mathfrak{Z} - структура поля зрения;

φ_τ - функции, зависящие от переменных $x_\tau = \{x_t | t \in \tau\}$.

В этом методе структурная сегментация изображений рассматривается как частный случай генерирования Марковских случайных полей. При этом цвет каждого пикселя состо-

ит из двух компонент – цвета и метки. При этом неявно предполагается, что структура поля зрения для различных текстур совпадает.

Преимущество модели состоит в том, что разметка и каждая текстура характеризуется своими Марковскими случайными полями, не зависящими друг от друга. Это позволяет легко модифицировать распознающую систему. Введение новой текстуры или удаление существующей происходит в рамках модели очень просто. Кроме того, в данной модели легко учитываются априорные знания о разметке.

Каждая модель $\lambda=(A, B, \pi)$ представляет собой набор N состояний $S=\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, между которыми возможны переходы. В каждый момент времени система находится в строго определенном состоянии. В наиболее распространенных Марковских моделях первого порядка полагается, что следующее состояние зависит только от текущего состояния.

При переходе в каждое состояние генерируется наблюдаемый символ, который соответствует физическому сигналу с выхода моделируемой системы. Набор символов для каждого состояния – $V=\{v_1, v_2, \dots, v_M\}$, количество символов – M . Выход, генерируемый моделью, может быть также непрерывным. Существуют также модели, в которых набор символов для всех состояний одинаков. Символ в состоянии $q_t=S_j$ в момент времени t генерируются с вероятностью

$$b_j(k) = P[v_{k,t} | q_t = S_j] \quad (4)$$

Набор таких вероятностей составляет матрицу $B=\{b_j(k)\}$.

Матрица $A=\{a_{ij}\}$ определяет вероятность перехода из одного состояния в другое состояние:

$$a_{ij} = P[q_{t+1} = S_j | q_t = S_i], \quad 1 \leq i, j \leq N \quad (5)$$

Считается, что A не зависит от времени. Если из каждого состояния можно достичь любого другого за один переход, то все $a_{ij}>0$, и модель называется эргодической. Модель имеет также вероятность начальных состояний $\pi=\pi_i$, где $\pi_i=P[q_1=S_i]$.

Обычно в реальных процессах последовательность состояний является скрытой от наблюдений и остается неизвестной, а известен только выход системы, последовательность наблюдаемых символов $O=O_1O_2\dots O_T$.

В распознавании образов скрытые Марковские модели применяются следующим образом [3,4]. Каждому классу i соответствует своя модель λ_i . Распознаваемый образ представляется в виде последовательности наблюдений O . Затем для каждой модели вычисляется вероятность того, что эта последовательность могла быть сгенерирована именно этой моделью. Модель λ_i , получившая наибольшую вероятность, считается наиболее подходящей и образ относится к классу j .

Имея последовательность наблюдений $O=O_1O_2\dots O_T$ и настроенную модель $\lambda=(A, B, \pi)$, оценка вероятности $P[O|\lambda]$ генерации этой моделью – это и есть задача распознавания:

$$P[O | \lambda] = \prod_{t=1}^T b_{q_t}(O_t) \quad (6)$$

Задача объяснения состоит в подборке последовательности состояний $Q=q_1q_2\dots q_T$, чтобы она была оптимальной, имея последовательность наблюдений $O=O_1O_2\dots O_T$ и настроенную модель $\lambda=(A, B, \pi)$. Задача обучения заключается в способе корректировке параметров модели λ для того, чтобы максимизировать вероятность $P[O|\lambda]$.

Первая задача имеет точное аналитическое решение, называемое процедурой прямого-обратного прохода. Две остальные задачи не имеют точного аналитического решения. Для решения второй задачи используется алгоритм Витерби, для третьей задачи – алгоритм Баума-Вельча. Оба эти метода являются разновидностью градиентного спуска и решаются оптимизационными методами.

На обучающем наборе каждая модель реагирует на изображения-примеры с некоторой вероятностью. Отсортированные таким образом модели образуют исходное ранжирование.

Для неизвестного изображения модели также ранжируются по вероятностям отклика на неизвестное изображение. Большая величина отклонения полученного ранжирования от исходного сигнализирует о том, что изображение принадлежит к неизвестному классу.

В ходе работы было выяснено, что на металлургических предприятиях Донбасса для определения размера зерна применяется только один метод из 4 основных, описанных в ГОСТе 5639-82. Это метод визуального сравнения с эталонами шкал. Величину зерна определяют визуально при увеличении 100х. После просмотра всей площади шлифа выбирают несколько типичных мест и сравнивают их с эталонами.

Этот метод не только не обладает достаточной точностью результата, но и значительно увеличивает процесса всего металлографического анализа.

Существуют следующие методы, комплексное применение которых позволяет свести погрешности анализа до минимума [1]. Среди них:

1. Метод подсчета количества зерен, приходящихся на единицу поверхности шлифа, с определением среднего диаметра и средней площади зерна. Этот метод заключается в определении количества зерен на единице поверхности шлифа (1 мм²) и расчете средней площади и среднего диаметра зерна. Подсчет зерен проводится на микрофотографии в поле зрения, ограниченном окружностью диаметром 79,8 мм, что соответствует 0,5 мм² поверхности шлифа при увеличении 100х.

Подсчитывают число зерен, попавших внутрь круга (n_1), и число зерен, пересеченных ее границами (n_2). Общее количество зерен (n_{100}) подсчитывается следующим образом: $n_{100} = n_1 + n_2/2$;

Подсчет зерен проводят не менее чем в трех характерных местах шлифа и по полученным результатам рассчитывают среднее арифметическое значение.

Зависимость средней площади сечения зерна от номера зерна приведена на рис. 2. Зависимость числа зерен на площади 1 мм² от номера зерна приведена на рис. 3. Зависимость среднего диаметра зерна от номера зерна приведена на рис. 4.

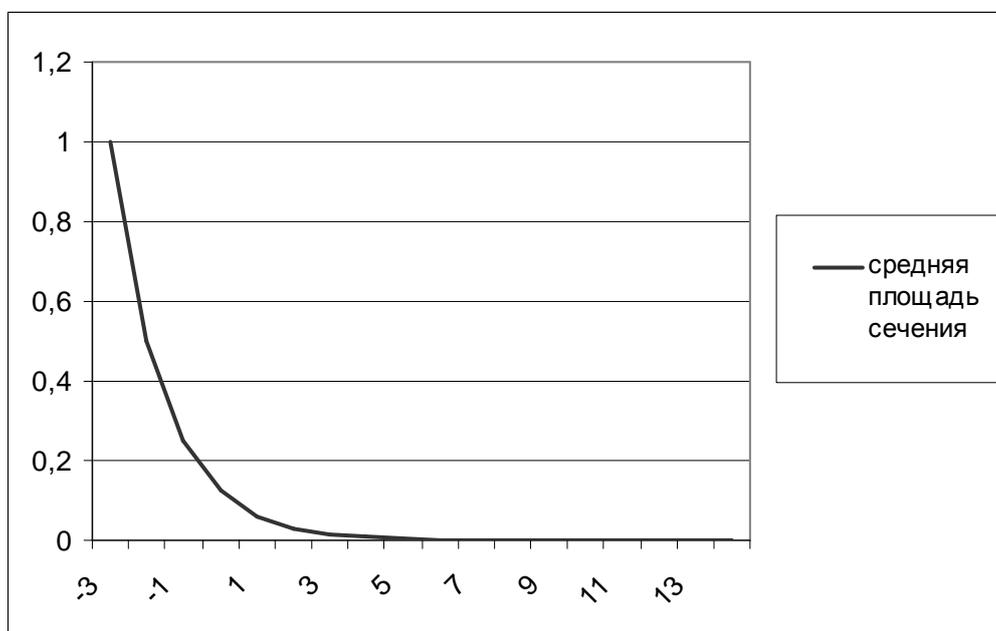


Рисунок 2 – Зависимость средней площади сечения зерна от его номера.

Номер величины зерна G получают сравнением полученных значений числа зерен на площади 1 мм², средней площади зерна и среднего диаметра зерна с соответствующими, установленными в ГОСТе, параметрами.

Допускаемые расхождения результатов трех определений при подсчете количества зерен не должны превышать 50%.

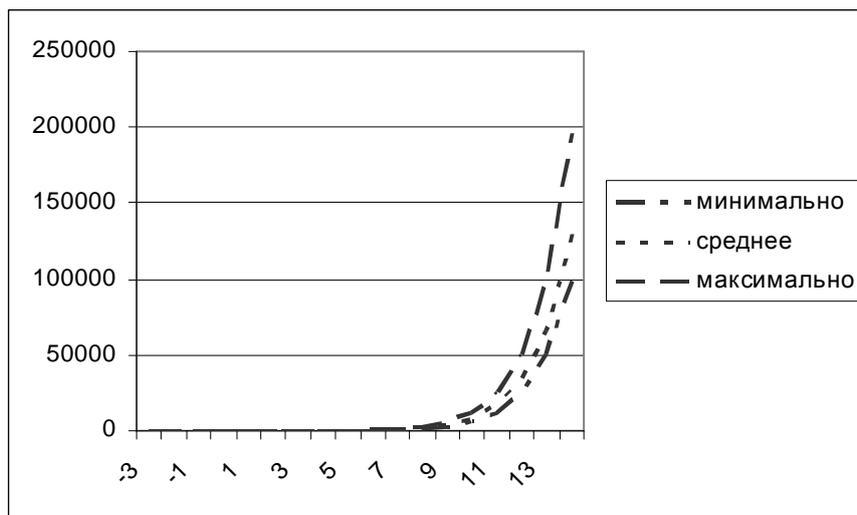


Рисунок 3 – Зависимость числа зерен на площади 1 мм² от номера зерна.

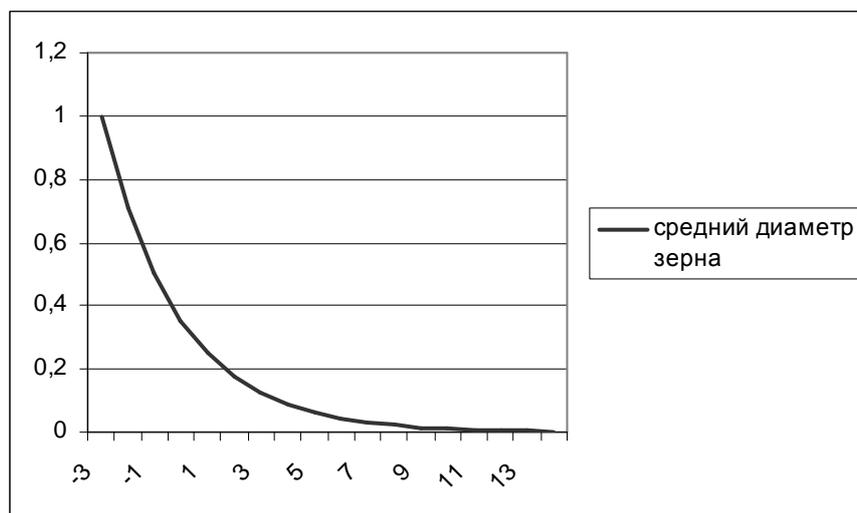


Рисунок 4 – Зависимость среднего диаметра зерна от его номера.

2. Метод подсчета пересечений границ зерен отрезками прямых с определением среднего условного диаметра в случае равноосных зерен, количества зерен в 1 мм² в случае неравноосных зерен. Метод состоит в подсчете зерен, пересеченных отрезком прямой, и определении среднего условного диаметра (в случае равноосных зерен) или количества зерен в 1 мм² (в случае неравноосных зерен). Подсчет пересечений в обоих случаях производится на микрофотографиях, на которых проводят несколько отрезков произвольной длины. Длину отрезков выбирают с таким расчетом, чтобы каждый из них пересекал не менее 10 зерен, при этом увеличение подбирают так, чтобы на исследуемой поверхности было не менее 50 зерен. Подсчитываются точки пересечений отрезков прямых линий с границами зерен. Зерна на концах прямой, не пересеченные ею целиком, принимают за одно зерно.

При этом методе определяют суммарную длину отрезков L, выраженную в мм натуральной величины на шлифе, и суммарное число пересеченных зерен N. Измерения проводятся не менее чем в пяти характерных местах шлифа. Допускаются расхождения результатов пяти определений при подсчете пересечений не более 50%.

Зависимость среднего числа пересеченных зерен от номера размера зерна показана на рис. 5.

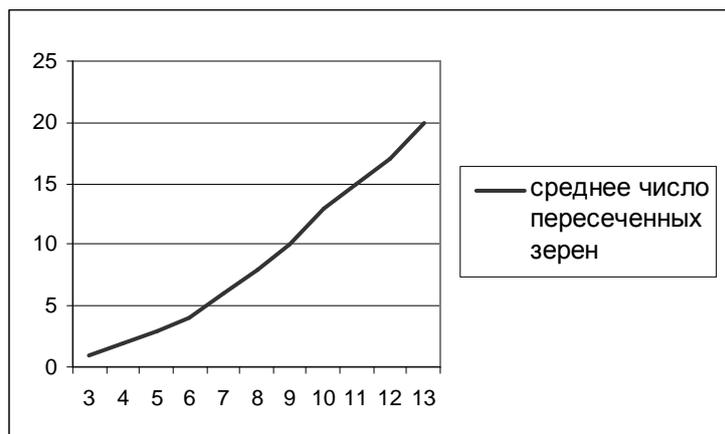


Рисунок 5 – Зависимость среднего числа пересеченных зерен от номера размера зерна.

3. Метод измерения длин хорд с использованием микрофотографий с определением относительной доли зерен определенного размера. Метод основан на замере линейных размеров отрезков – хорд, отсекаемых в зернах прямыми линиями, и применяется для определения величины зерна в разнотельной структуре. Замер длин хорд проводится на микрофотографии. При этом 100 мм при увеличении 100х соответствует длине 0,8мм или 1мм на шлифе. Замер проводят не менее чем в пяти наиболее типичных полях зрения, при этом в каждом поле зрения проводят не менее трех прямых в произвольных направлениях.

Выводы.

При анализе изображений важной их характеристикой служит текстура, которая присутствует во всех изображениях. Но, не смотря на это, концепция текстуры не очень хорошо определена и понимается даже сегодня.

Метод распознавания изображений был выбран на основе следующих преимуществ:

- математическая структура скрытых Марковских моделей очень богата и позволяет решать математические проблемы различных областей науки;
- грамотно спроектированная Марковская модель дает на практике хорошие результаты работы;
- преимущество модели состоит в том, что разметка и каждая текстура характеризуется своими Марковскими случайными полями, не зависящими друг от друга. Это позволяет легко модифицировать распознающую систему.

Наиболее важной проблемой в анализе и классификации изображения на сегодняшний день является классификация текстур, которые расположены под различными углами и в разном масштабе. Эту проблему также можно решить с помощью разновидностей Марковских моделей.

Также в работе обосновывается необходимость разработки данной подсистемы, несмотря на существование программных пакетов, которые решают проблему распознавания металлографических изображений.

Литература

1. Сорокин, В. Г. Стали и сплавы: марочник / В. Г. Сорокин, М. А. Гервасьев – Москва 2001г. – 641 стр;
2. Солнцев, Ю. П. Стали и сплавы: справочник / Ю. П. Солнцев – 2003г. – 1066 стр;
3. Яковлев, А. В. Методы анализа и синтеза текстур: статья / А. В. Яковлев – 2006г.;
4. Гончаров, А. В. Разработка и исследование алгоритмов и методов детекции и идентификации образов: статья / А. В. Гончаров – 2006 г.