

УДК 681.14:620.186

А.В. Яковлев, С.В. Пантелеев

г. Муром, Муромский Институт ВлГУ

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ

В связи с непрерывно растущими объемами производства и требованиями к надежности и долговечности металлопродукции, повышаются требования к металлургическому контролю качества, одним из аспектов которого является исследование и контроль микроструктуры металла.

Исследование микроструктуры состоит, обычно, в наблюдении образца металла, под микроскопом и сравнении увиденного изображения с изображениями приведенными в ГОСТ или ТУ. Так, например, ГОСТ 1435-74 содержит десяти бальную шкалу для оценки перлита в углеродистой инструментальной стали, а ГОСТ 5950-73 – в инструментальной легированной стали [1]. Очевидно, что точность такого контроля зависит от ряда субъективных причин, например, усталости исследователя в связи с необходимостью анализа больших объемов информации. Поэтому представляется актуальным автоматизировать процесс сравнения образца металла с эталоном, используя ЭВМ.

Ввод изображения образца в ЭВМ осуществляется при помощи системы, состоящей из металлографического микроскопа, на котором вместо предусмотренного производителем фотоаппарата установлена видеокамера, сопряженная с персональным компьютером. Вывод о схожести эталонного изображения с изображением микроструктуры образца формируется с учетом некоторой пороговой величины. В качестве меры сходства, как правило, используются меры корреляции. Однако она обладает высокой чувствительностью к шумовым эффектам изображения и поэтому в нашем случае не приемлема. Более точное заключение о сходстве изображений дает сравнение текстурных характеристик, вычисленных на основе матрицы совместной встречаемости уровней яркости.

Матрица совместной встречаемости (или смежности) уровней яркости представляет собой оценку плотности распределения вероятностей второго порядка, полученную по изображению в

предположении, что плотность вероятности зависит лишь от расположения двух пикселей. Матрица совместной встречаемости  $S_{\delta, \Theta}$  может быть построена для разных направлений  $\Theta = (0^0, 45^0 \dots)$ , разных расстояний  $\delta = 1 \dots K - 1$  и определяется как  $S_{\delta, \Theta} = [S_{\delta, \Theta}(i, j)], i, j = 0 \dots K - 1$ , где  $K$  – количество уровней яркости. По матрице совместной встречаемости вычисляется огромное количество текстурных признаков изображений [2], ниже приведены наиболее употребимые из них (все они были опробованы в качестве критериев сравнения металлографических изображений):

– среднее значение яркости  $\mu = \sum_{i=0}^{K-1} i \sum_{j=0}^{K-1} S_{\delta, \Theta}(i, j)$

– дисперсия  $\sigma^2 = \sum_{i=0}^{K-1} (i - \mu)^2 \sum_{j=0}^{K-1} S_{\delta, \Theta}(i, j)$

– энергия  $\rho_1 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} [S_{\delta, \Theta}(i, j)]^2$

– инерция  $\rho_2 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} (i - j)^2 S_{\delta, \Theta}(i, j)$

– энтропия  $\rho_3 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} S_{\delta, \Theta}(i, j) \log S_{\delta, \Theta}(i, j)$

– гомогенность  $\rho_4 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} \frac{S_{\delta, \Theta}(i, j)}{1 + (i - j)^2}$

– максимальная вероятность  $\rho_5 = \max_{ij} S_{\delta, \Theta}(i, j)$

– контраст  $\rho_6 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{K-1} |i - j|^2 [S_{\delta, \Theta}(i, j)]^2$

– обратный момент разности  $\rho_7 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^{K-1} \frac{[S_{\delta, \Theta}(i, j)]^2}{|i - j|^2}$

– коэффициент корреляции  $\rho_8 = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^{K-1} \frac{(i - u)(j - u) S_{\delta, \Theta}(i, j)}{\sigma^2}$

Процесс сравнения состоит в следующем. На первом этапе формируется база данных текстурных характеристик изображений эталонных структур, т. е. в соответствии с ГОСТ выбираются

эталон, каждый из которых подвергается анализу на разных участках и в разных ориентациях. Далее для полученных изображений строится матрица совместной встречаемости и по ней вычисляются выбранные текстурные характеристики. Таким образом, для каждого эталона формируется допустимый диапазон значений характеристик. Возвращаясь к приведенному выше примеру, в соответствии с ГОСТ 1435-74 получаем десяти балльную шкалу, каждому баллу которой соответствует диапазон признаков, вычисленных на основе матрицы совместной встречаемости. Теперь, получая для анализа неизвестный образец, строя матрицу совместной встречаемости изображения его микроструктуры, вычисляя необходимые характеристики и проверяя их вхождение в сформированные диапазоны, можно судить о качестве обработки металлообразца или о его принадлежности к тому или иному классу металлов.

Описанный метод позволяет автоматизировать контроль качества металлопродукции и дает возможность избавить исследователя от рутинной работы, состоящей в определении соответствия анализируемого образца приведенным в ГОСТ или ТУ эталонам.

---

1. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. – 3-е изд., перераб. и доп. в 3-х т. Т.1. Методы испытаний и исследования / Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г. М: Металлургия, 1983 – 352 с.

2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М: Мир, 1982 – Кн. 2 – 480 с., ил.