

Д.Н. СТАРОДУБОВ,  
А.А. ОРЛОВ

**Автоматический анализ  
неметаллических включений в  
стали**

УДК 004.932.4

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
Александра  
Григорьевича и Николая  
Григорьевича  
Столетовых», г. Муром

*Работа поддержана грантом РФФИ № 11-07-97515*

*В статье рассмотрен алгоритм автоматического анализа неметаллических включений в стали по снимку микроструктуры согласно требованиям ГОСТ.*

*Article describes algorithm of automatic analysis of nonmetallic inclusions in steel using the microstructure image*

ГОСТ 1778-70 определяет 4 метода оценки неметаллических включений в стали. При этом могут оцениваться параметры отдельно для каждого типа включений (оксиды, силикаты, сульфиды и нитриды) либо для всех включений на изображении.

Метод Ш предполагает визуальное сопоставление образца с эталонными изображениями и оценку загрязненности стали неметаллическими включениями по пятибалльной шкале. В данном случае применять методы автоматизированного количественного анализа не нужно.

Метод К используется для подсчета количества включений, имеющих размеры больше установленного. Отдельно определяют количество кислородных, сульфидных и нитридных включений. Размер включения определяется следующим образом:

- если отношение максимального и минимального размеров (длины и ширины) включения не превышает двух, то размер включения определяют как их среднее арифметическое;
- размеры вытянутых включений (отношение длины и ширины больше двух) вычисляют по (1).

$$L = \begin{cases} \frac{1+a_0l_0}{2}, & \frac{l_0}{a_0} > 2 \\ \frac{a_0+l_0}{2}, & \frac{l_0}{a_0} \leq 2 \end{cases}, \quad (1)$$

где  $a_0$  – ширина включения;  
 $l_0$  – длина включения;  
 $L$  – размер включения по ГОСТ 1778-70.

Для автоматизации подобной задачи используется следующая последовательность действий:

1. Предварительная обработка изображения микроструктуры с целью его улучшения [2, 4-7];
2. Выделение на изображении объектов (сегментация);
3. Улучшение изображения с помощью алгоритма устранения малоразмерных объектов [3]);
4. Классификация найденных объектов, то есть отнесение их к определенным видам включений;
5. Определение длины и ширины каждого объекта, вычисление на их основе размера включения в соответствии с ГОСТ 1778-70;
6. Подсчет количества включений каждого типа, размер которых превышает установленное значение, а также общего количества таких включений.

Сегментация в данном случае осуществляется по яркостному признаку, т.к. различные виды включений имеют разные яркостные характеристики.

Этап предварительной обработки при анализе неметаллических включений в стали не подразумевает процедуры удаления малоразмерных объектов, поскольку некоторые включения (например, оксиды и нитриды) могут быть представлены на изображении точечными объектами малого размера. Таким образом, исходное изображение обрабатывается медианным фильтром для устранения импульсного шума и сегментируется. В результате получается изображение, пример которого показан на рисунке 1.

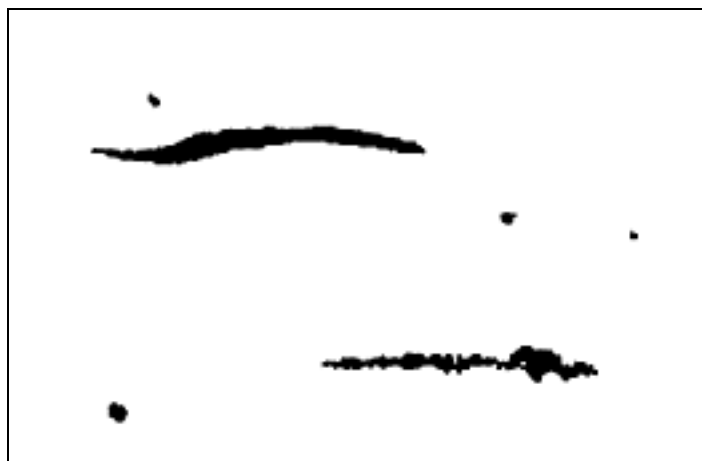


Рис. 1. Микроструктура стали с неметаллическими включениями

Затем для каждого объекта на изображении должны быть вычислены длина и ширина независимо от ориентации объекта на снимке. Для этого используется алгоритм, в котором под длиной и шириной объекта на изображении понимаются длины большей и меньшей сторон описанного вокруг объекта прямоугольника минимальной площади [1, 8-10].

Чтобы вычислить эти характеристики, анализируемый объект поворачивается вокруг своего центра тяжести ( $X_{ц}; Y_{ц}$ ) на углы от  $0^\circ$  до  $180^\circ$  с шагом  $k$  и для каждого такого поворота определяются проекции объекта на оси  $X$  и  $Y$ .

$$l_x = X_{\max} - X_{\min} + 1 \quad (2)$$

$$l_y = Y_{\max} - Y_{\min} + 1 \quad (3)$$

Для поворота объекта вокруг центра тяжести координаты каждой его точки пересчитываются в соответствии с формулой (4).

$$\begin{aligned} X_H &= (X - X_{ц})\cos\alpha - (Y - Y_{ц})\sin\alpha + X_{ц} \\ Y_H &= (Y - Y_{ц})\cos\alpha - (X - X_{ц})\sin\alpha + Y_{ц} \end{aligned} \quad (4)$$

где  $X, Y$  – исходные координаты точки;  
 $X_H, Y_H$  – новые координаты точки;  
 $X_{ц}, Y_{ц}$  – координаты центра объекта;  
 $\alpha$  – угол поворота.

В результате формируется множество  $L = \{\{l_{0x}, l_{0y}\}, \{l_{1x}, l_{1y}\}, \dots, \{l_{mx}, l_{my}\}\}$ , в котором величины  $l_{ix}$  и  $l_{iy}$  представляют собой длины сторон прямоугольника, описанного вокруг объекта при повороте его на угол  $i \cdot k^\circ$  (рис. 2)

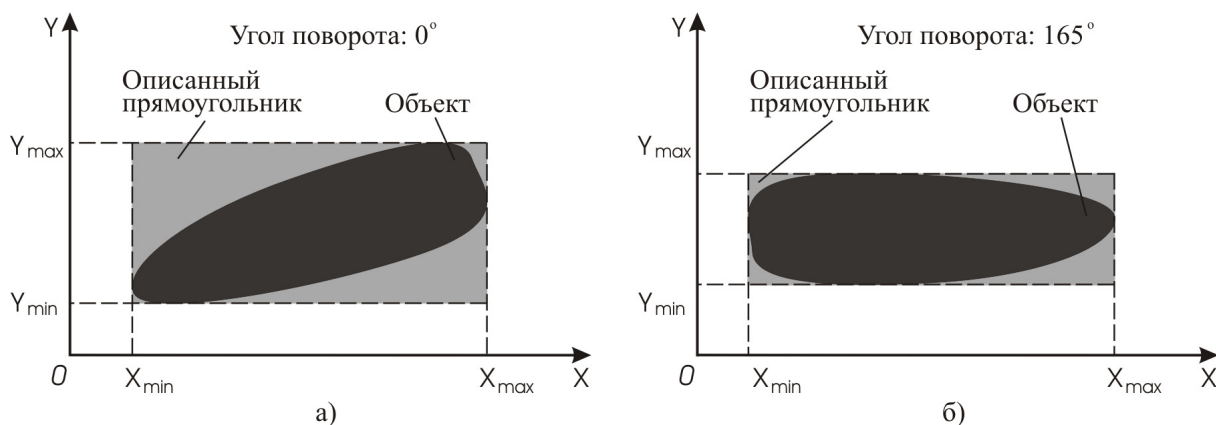


Рис. 2. Описанные вокруг объекта прямоугольники

Произведение  $l_{ix}$  и  $l_{iy}$  даёт площадь описанного прямоугольника для угла поворота  $i \cdot k^\circ$ . Определив минимальную такую площадь можно получить описанный вокруг объекта прямоугольник минимальной площади, представленный в виде длин его сторон.

Для повышения быстродействия этого алгоритма возможно увеличение шага изменения угла поворота. Если шаг поворота равен единице, то объект будет повернут 179 раз. Если шаг будет равен трем, то объем вычислений сократится в 3 раза (59 поворотов). Следует отметить, что при большом увеличении этого шага неизбежно уменьшение точности вычислений. Шаг в  $3 - 4^\circ$  дает погрешность в 1 – 2 точки, но существенно ускоряет работу алгоритма.

Кроме этого, для уменьшения вычислительной сложности алгоритма в нем обрабатываются не все точки, а только точки максимальной кривизны. Понятия точки максимальной кривизны различаются для линейного и площадного представления объектов. В случае обработки контурного изображения используется тот факт, что контур представляет собой линию односточечной ширины. Поэтому точка контура считается точкой максимальной кривизны, если ее окрестность удовлетворяет одной из масок рис. 3.

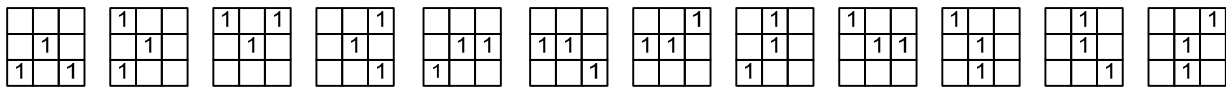


Рис. 3. Эталоны для нахождения точек максимальной кривизны линейного дискретного объекта

Для плоского объекта способ выделения таких точек заключается в следующем: для каждой точки объекта определяется то, каких соседей в окрестности у нее больше – темных или светлых. Если больше светлых, то данная точка считается имеющей максимальную кривизну. Это условие может быть выражено следующим образом:

$$\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 F(X+i, Y+j) < 5 \quad (5)$$

Такой алгоритм вычисления длины и ширины является универсальным, т.к. полученные с его помощью значения длины и ширины не будут зависеть от положения и ориентации включения на изображении, а также от его формы (выпуклая либо вогнутая).

По ГОСТ 1778-70 для каждого включения необходимо определить размер в соответствии с формулой (1).

Размеры включений изначально вычисляются в точках изображения, затем эти значения переводятся в метрическую систему, для чего в программу анализа заносится увеличение, при котором был сделан снимок. В соответствии с требованиями ГОСТ 1778-70 все неметаллические включения в зависимости от их размера разделяются на 5 групп как это показано в таблице 1. Если максимальный размер включений превышает приведенные в таблице 1, количество групп может быть увеличено.

Таблица 1

**Разделение неметаллических включений на группы**

Группа	Размер включения, мкм
1	свыше 7 до 14
2	свыше 14 до 21
3	свыше 21 до 28
4	свыше 28 до 35
5	свыше 35 до 42

При анализе изображений для каждого найденного объекта определяется его группа в зависимости от размера включения. По

полученным данным строится таблица результатов, пример которой приведен в таблице 2.

Таблица 2

**Результат анализа неметаллических включений**

Группа	Оксиды	Сульфиды	Нитриды	Всего
1	10	6	8	24
2	2	2	7	11
3	4	0	1	5
4	1	0	2	3
5	0	1	0	1

Таким образом, описанный метод позволяет автоматизировать анализ неметаллических включений по снимкам микроструктуры согласно требованиям ГОСТ.

### Литература

1. Садыков, С.С. Исследование алгоритма определения длины и ширины плоских объектов / С.С. Садыков, Д.Н. Стародубов // Труды международного симпозиума "Надежность и качество": Пензенский государственный университет. – 2009. – Т. 2. – С. 386-370.
2. Стародубов, Д.Н. Алгоритмы предварительной обработки изображений микроструктур / Д.Н. Стародубов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2010. – № 15. – С. 179-185.
3. Стародубов, Д.Н. Алгоритм удаления малоразмерных объектов с металлографических снимков / Д.Н. Стародубов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2009. – № 14. – С. 170-175.
4. Орлов А.А., Ермаков А.А. Выделение линейчатых образов в капиллярной дефектоскопии. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2007, № 12. С. 148-152.
5. Орлов А.А., Ткачук М.И. Обзор проблемы обработки изображений чертежей и карт // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2007, № 12. С. 153-158.
6. Орлов А.А., Бесчастнова Т.В. Воспроизведение линий на изображениях рукописей // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2008, № 13. С. 114-118.
7. Орлов А.А., Антонов Л.В. Методы предварительной обработки изображений микро и нано структур. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2011, № 17. [http://www.amisod.ru/index.php/index.php?option=com\\_content&view=article&id=36:amisod-2011-2-8&catid=14:amisod-2-17-2011](http://www.amisod.ru/index.php/index.php?option=com_content&view=article&id=36:amisod-2011-2-8&catid=14:amisod-2-17-2011)
8. Стулов Н.Н. Способ формирования признаков объектов в СТЗ инвариантных к повороту, переносу и изменению масштаба. // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2005, № 10. С. 18-25.

9. Стулов Н.Н. Инвариантные к повороту, переносу и изменению масштаба признаки объекта из замкнутых линий // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2005, № 10. С. 25-30.

10. Стулов Н.Н., Стародубов Д.Н. Инвариантные к повороту, переносу и изменению масштаба признаки площадных объектов // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2005, № 10. С. 30-38.