

Рассматриваются результаты практического использования алгоритмов сегментации, основанных на использовании многомасштабных последовательностей изображений для решения задач обработки металлографических снимков.

Введение

Под сегментацией изображения понимается автоматическое его разбиение на содержательно интерпретируемые области, поэтому ее важным, в прикладном отношении, частным случаем является задача выделения объектов, различных как по своим яркостным, геометрическим и другим свойствам, так и по физической интерпретации. Одна из важных задач сегментации – выделение информативной части изображений для последующих этапов обработки и анализа. Наиболее часто сегментацию проводят по яркости.

Сегментация, как этап автоматизированной обработки визуальной информации является естественным расширением систем ЦОАИ, т.к. позволяет осуществлять визуальный анализ областей – объектов, их яркостных и геометрических характеристик. Сегментацию можно рассматривать как основной начальный этап анализа для построения формального описания изображений, качество выполнения которого во многом определяет успех решения поставленных задач обработки изображения.

Одним из возможных подходов к сегментации изображения является использование алгоритмов, основанных на понятии многомасштабной последовательности изображений [1]. Их использование оказывает эффективное при решении задач автоматической обработки и анализа металлографических снимков.

1. Исследование изображений усталостных изломов

С возрастающим усложнением и ужесточением условий эксплуатации современной техники, актуальной становится проблема создания материалов и видов обработки, обеспечивающих не только высокую прочность, но и достаточную надежность против разрушения. Поэтому большое значение придается изучению процесса разрушения и влияния различных структурных и технологических факторов на характеристики разрушения.

Среди физических методов изучения связи состава и структуры материала с его механической прочностью особое место отводится исследованию поверхностей разрушения (изломов). Излом наиболее четко отражает строение и свойства материала в локальном объеме, в котором протекает процесс разрушения.

По характеру разрушения выделяют три вида изломов: хрупкий, вязкий и усталостный. При циклических (повторно – переменных) нагрузках материал подвержен усталостному разрушению. Под усталостью понимается процесс постепенного накопления повреждений материала под действием переменных напряжений, приводящих к изменению свойств, образованию трещин, их развитию и разрушению. Усталостная трещина зарождается обычно на поверхности детали в местах наибольшей концентрации напряжений (отверстия, надрезы, неметаллические включения и др.). Усталостный излом образуется в результате зарождения и дальнейшего постепенного развития микротрещин под влиянием многократно повторяющихся циклических нагрузок. Процесс усталостного разрушения достаточно длителен, так как он связан с постоянным накоплением повреждений, развитием и перемещением трещины.

Макроструктура типичного усталостного излома имеет две ярко выраженные зоны [2]:

1) Зона усталостного разрушения – с гладкой, притертой поверхностью там, где усталостная трещина постепенно проникала вглубь сечения.

2) Зона статического разрушения – крупнокристаллического строения, по которому произошло хрупкое разрушение (долом) вследствие большого ослабления сечения. Образуется, когда поперечное сечение детали оказывается недостаточным для сопротивления действующей нагрузке.

Форма и размещения зон излома зависят от способа упрочнения детали, долговечности (малоцикловая или многоцикловая усталость), условий нагружения и т. д.

Отношение площади усталостной зоны S_f к площади зоны долома S_r считается мерой величины циклических напряжений, которые обуславливают разрушение. При этом следует подчеркнуть, что изучению микростроения излома должна предшествовать четкая идентификация зон по макростроению.

Для автоматизации вычисления S_f и S_r можно применить алгоритмы сегментации изображений. Обычно, изображение излома содержит две зоны с различными текстурными и/или яркостными характеристиками, следовательно, для его сегментации могут быть использованы алгоритмы, предложенные в [1]. На рис.1 показаны изображения усталостных изломов. Размер каждого изображения составляет 512×512 отсчетов.

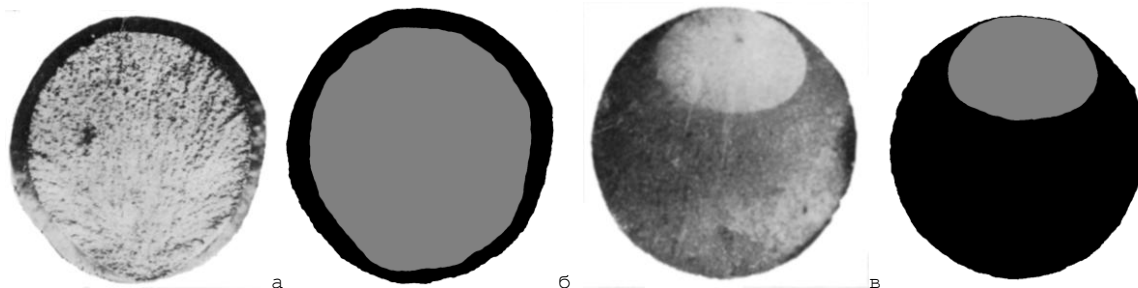


Рис. 1. Изображение поверхности излома: а, в – исходные изображения; б, г – результаты сегментации

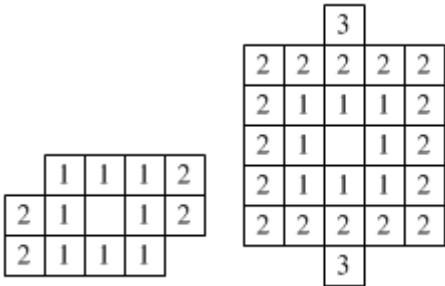
Таблица 1. Результаты анализа изображений

Изображение	Материал	Увеличение	S_f	S_r
Рис.1рис. .а	Сталь 45ХН2МФА	10 раз	26,31%	73,69%
Рис.2.в	Сталь 38ХС	4 раза	23,31%	76,69%

Изображение представленное на рис.1.а, состоит из двух областей. Область, расположенная в центре изображения обладает крупнозернистой текстурой, а по краю – мелкозернистой. Поэтому для сегментации этого изображения используется алгоритм сегментации изображений на основе адаптивной модели скрытого марковского дерева [1]. Окрестность, используемая при сегментации, показана на рис. 2.а

Изображение, показанное на рис 1.в состоит из двух областей, которые обладают мелкозернистой текстурой. В этом случае, для выделения областей интереса более эффективно использовать метод

сегментации, ориентированный на анализ изображений, содержащих приблизительно однородные по уровню яркости области. Поэтому для сегментации изображения, представленного на рис 1.в, используется алгоритм сегментации изображений на основе адаптивной модели многомасштабного марковского случайного поля [1]. Окрестность, используемая при сегментации, показана на рис. рис. 2.б.



а б
Рис. 2. Окрестности, используемые при сегментации
2. Вычисление количественного соотношения фаз в сплаве

Для оценки физических свойств и химического состава сплава необходимо знать количественное соотношение фаз в сплаве. Под фазой понимается часть системы, имеющая одинаковые физико-химические свойства отделинная от остальной системы поверхностью раздела [3]. Определение соотношения фаз основано на следующем принципе [3]: доля объема сплава, приходящаяся на *i* - ую фазовую составляющую, равна доле площади, занятой этой составляющей в случайном сечении, или доле длины секущей, приходящейся на эту составляющую ($i \in [1;N]$, *N* - число фазовых составляющих).

При оценке соотношения фаз шлиф подготавливают таким образом, чтобы различные фазовые составляющие обладали различной яркостью. Например, при оценке количественного содержания феррита и перлита в металлической основе чугуна шлиф обрабатывают таким образом, что зёрна перлита окрашиваются в тёмный цвет, а зёрна феррита остаются светлыми. Поэтому, для выделения фазовых составляющих металла или сплава можно применить алгоритм сегментации. Алгоритм определения доли *i* - ой фазы в сплаве состоит из следующих шагов:

- 1) Сегментировать изображение микроструктуры сплава на *N* подобластей.
- 2) Вычислить долю фазы в сплаве: $V[i]=SF[i]/S$, где *S* - площадь изображения, *SF[i]* - количество отсчётов изображения, отнесённых в результате сегментации к *i* - ой фазе.

На рис. 3 представлена микроструктура металлической основы серого чугуна марки СЧ10 при увеличении 100. В табл. 2 показаны результаты оценки количества перлита и феррита в металлической основе чугуна СЧ10 вручную [3] и при помощи предлагаемого алгоритма.

Метод оценки	Металлическая основа	Доля		Темплет
		Перлита	Феррита	
Ручной	П96 (Ф4)	94 - 98%	2 - 6%	№1
Автоматический	П96 (Ф4)	97,203%	2,797%	
Ручной	П92 (Ф8)	90 - 94%	6 - 10%	№2
Автоматический	П92 (Ф8)	93,399%	6,601%	

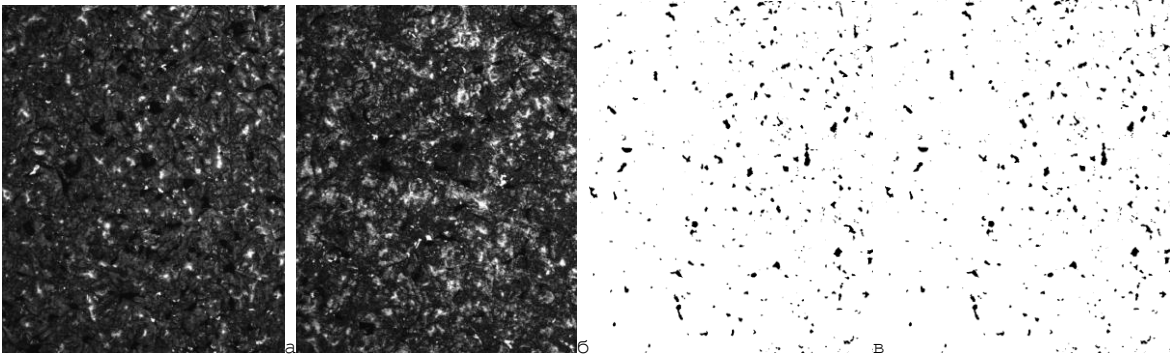


Рис. 3. Металлическая основа: а - темплет №1; б - темплет №2; в - г: сегментированные изображения темплетов

На рис. 4показаны изображения микроструктуры чугуна марки СЧ10 при увеличении 100.

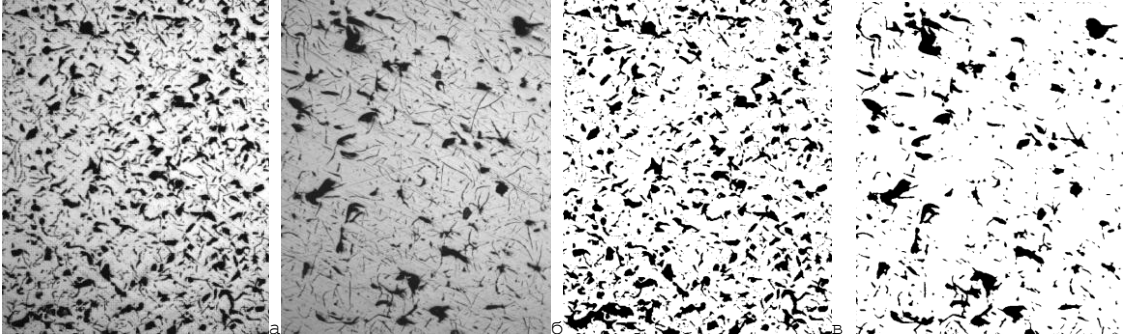


Рис. 4. Оценка количества графита: а - темплет №1; б - темплет №2; в - г: сегментированные изображения темплетов

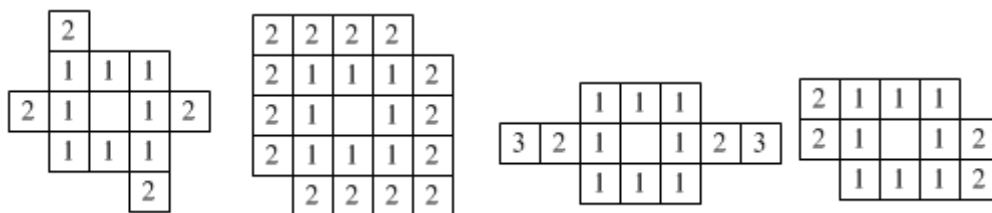
Оценка количества и формы графита в чугунах, выполняется по изображению нетравлёного шлифа, вследствие того, что графит является неметаллическим включением. В табл. 3 показаны результаты вычисления количества графита по изображению микроструктуры вручную и при помощи предлагаемого подхода.

Таблица 3. Оценка количества графита

Темплет /Метод оценки	Количество графита	
	Ручной	Автоматический
№1	5 – 10% (ВГ92)	20,139% (ВГ70)
№2	5 – 8% (ПГ6)	11,020% (ПГ10)

Необходимо отметить, что на изображении микроструктуры чугуна, не все тёмные области изображения относятся к графиту. Однако, результаты экспериментов показывают, что, отнесение этих областей к графиту не вносит существенной ошибки в конечный результат.

Размер изображений, показанных на рис. 3.а,б – рис. 4.а,б, составляет 1024×768 отсчётов. Для сегментации изображений используется алгоритм сегментации изображений на основе адаптивной модели многомасштабного марковского случайного поля [1]. Окрестности, используемые при сегментации, показаны на рис. 5.



а б в г

Рис. Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует.. Окрестность, используемая при сегментации изображения, показанного на: а – рис. 3.а; б –рис. 3.б; в –рис.4.а; г –рис. 4.б

3. Оценка размера зерна

Контроль величины зерна выполняют, в тех случаях, когда величина зерна в значительной степени влияет на свойства металла. Для выявления и определения величины зерна при исследовании и контроле сталей обычно используют методы, описанные в ГОСТ 5639-82 [4].

Зерна металлов – отдельные кристаллы поликристаллического конгломерата, разделённые между собой смежными поверхностями, называемыми границами зёрен.

Изображение микроструктуры стали, подготовленное для оценки балла зерна, содержит:

- 1) Светлые области, соответствующие зёрнам металла.
- 2) Тёмные области, соответствующие границам зёрен металла, особенностям поверхности шлифа, полученным в результате подготовки шлифа, а также другим структурным составляющим металла.

Исходя из описанной структуры изображения для оценки размера зерна, алгоритм определения балла зерна состоит в следующем:

- 1) Сегментировать изображение микроструктуры металла.
- 2) Удалить зёрна, которые касаются краёв изображения. Такие зёрна полностью не видны, следовательно, их истинные размеры не могут быть найдены.
- 3) Вычислить площади зерен.
- 4) Построить гистограмму размеров зёрен.

На рис. брис..а, в показано изображение микроструктуры сплава ЭИ437БУВД при увеличении 100, размер изображения составляет 1024×768 отсчётов (1 отсчёт изображения соответствует 0,521 мкм).

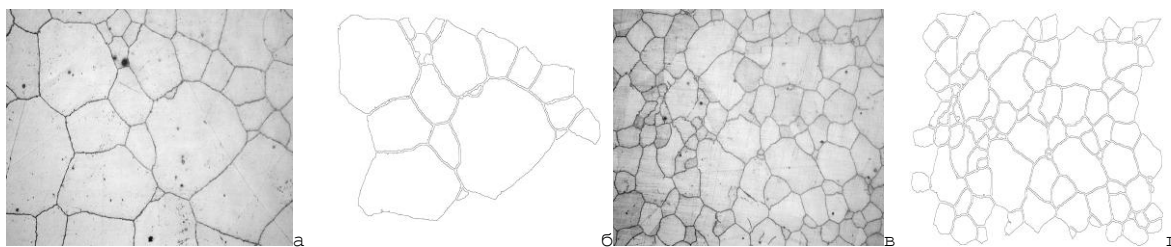


Рис.6. Изображение микроструктуры сплава: а, в – исходное изображение; б, г – результат выделения зёрен

На рис.7рис. показаны результаты вычисления размеров зерна.

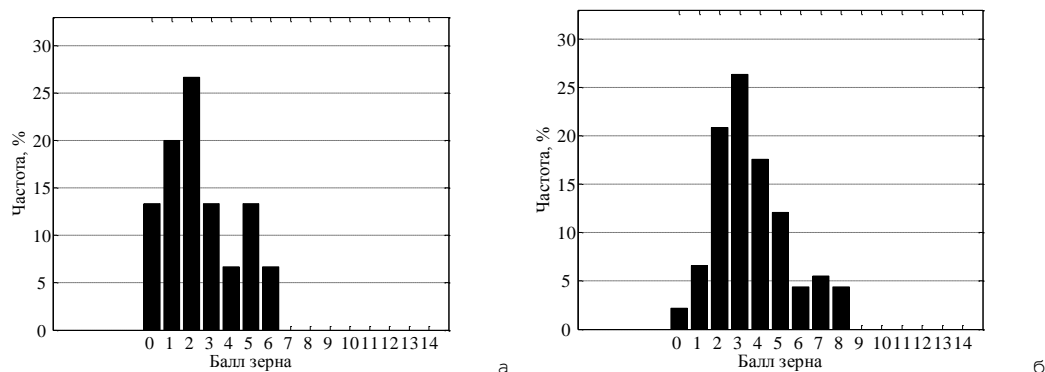
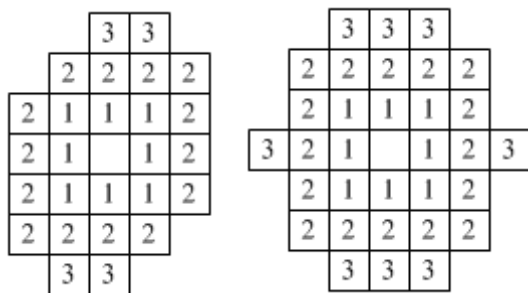


Рис. 7 Оценка размеров зёрен для изображения: а – рис..а; б – рис..в

Для сегментации изображений применяется алгоритм сегментации изображений на основе адаптивной модели многомасштабного марковского случайного поля [1]. Окрестности, используемые при сегментации, показаны на рис. 8.



а б

Рис. 8. Окрестность, используемая при сегментации изображения: а – рис.6рис..а; б – рис. 6.в
Методом сравнения с эталоном получено, что на изображении рис.6.в находятся зёрна 2, 3 и 4 баллов, а на изображении рис.5.а: 1 и 2 – го баллов.

4. Определение удельной поверхности раздела

Одной из характеристик структуры металла является удельная поверхность раздела зёрен или фаз. Поверхности раздела в структуре материалов бывают двух типов: межкристаллитные (границы зёрен в поликристалле, границы контакта частиц второй фазы в двухфазной структуре) и межфазные (границы второй фазы и матрицы в двухфазной структуре).

Протяжённость поверхностей раздела оказывает влияние на поведение материала, а именно на процессы диффузии и выделения, на процессы упрочнения и разупрочнения, а также на коррозионные процессы в твёрдых телах. Например, чем меньше размер зерна металла, тем больше его устойчивость против коррозионного растрескивания. При увеличении размера зерна уменьшается время до разрушения. Доказано, что сопротивление хрупкому разрушению поликристаллических металлов обратно пропорционально квадратному корню размера зерна. Следовательно, для разрушения мелкозернистого поликристаллического материала требуются повышенные напряжения. Поэтому крупнозернистые металлы с благоприятной ориентацией границ зерен очень неустойчивы против коррозионного растрескивания.

Удельные протяжённости в объёме P_V ($\text{мм}^2/\text{мм}^3$) и на плоскости P_A ($\text{мм}/\text{мм}^2$) связаны соотношением [3]:

$$P_V = \frac{4}{\pi} P_A,$$

где $\frac{4}{\pi}$ – множитель, учитывающий все возможные ориентировки поверхностей раздела в пространстве. Алгоритм определения удельной поверхности раздела состоит из следующих этапов:

- 1) Выделить объекты на изображении (сегментировать изображение).
- 2) Выделить контуры объектов.
- 3) Вычислить сумму периметров контуров объектов P_A .
- 4) Оценить величину удельной поверхности раздела P_V .

Периметр P_j контура объекта j вычисляется следующим образом:

$$P_j = H_j + V_j + \sqrt{2}D_j,$$

где H_j , V_j , D_j – количество, соответственно, горизонтальных, вертикальных и диагональных отрезков из числа отрезков, входящих в контур объекта j .

В табл. 4 показаны результаты оценки удельной поверхности раздела для изображений, представленных на рис.6.б и рис.6.г.

Таблица 4. Результаты оценки удельной поверхности раздела

Изображение	P_V ($\text{мм}^2/\text{мм}^3$)
рис.6.б	9,2684
рис.6.г	20,4075

ЛИТЕРАТУРА

1. Жизняков А. Л. Теоретические основы обработки многомасштабных последовательностей цифровых изображений / А. Л. Жизняков, С. С. Садыков. – Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 121 с.
2. Фрактография – средство диагностики разрушенных деталей / М. А. Батлер [и др.]. – М.: Машиностроение, 1987. – 172 с.
3. Чернявский, К. С. Стереология в материаловедении / К. С. Чернявский. – М.: Металлургия, 1977. – 280 с.
4. ГОСТ 5639-82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. – Взамен ГОСТ 5639-79. М.: Издательство стандартов, 1983, 21 с.