

Клочко О. Ю.

Харьковский национальный техни-
ческий университет сельского хо-
зяйства им. П.Василенко
E-mail: vklochko@yandex.ua

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПТИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ОЦЕНКИ
ДИСПЕРСНОСТИ СТРУКТУРЫ
ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ**

УДК 669.017.3:621.78

Проведена оценка неоднородности высокохромистого чугуна методами оптико-математического анализа, включающего оценку дисперсности структуры, при помощи параметров, описывающих функции мощности диссипации энергии и напряжений, возникающих в результате процессов структурообразования таких сплавов

Ключевые слова: дисперсность, оптико-математическая обработка, высокоуглеродистый сплав

Вступление

Количественная и качественная оценка параметров структуры материалов, особенно дисперсного строения, является важной задачей в исследовательских работах по определению влияния технологических факторов и различных видов обработки материалов при изготовлении изделий различного назначения, в частности, высокоуглеродистых сплавов. Одним из направлений таких исследований является использование методов оптико-математической оценки при помощи компьютерного анализа металлографического изображения.

В ранее опубликованных исследованиях [1,2] были предложены методики математического анализа, в частности, гетерогенных высоколегированных сплавов, основанные на гидродинамических аналогиях (лапласианов и дивергенций), с применением уравнений Навье-Стокса, происходящих при формировании фаз. Данные методики позволяют при исследовании дисперсности структурных составляющих, проводить более надежный анализ, выявляя отличия также и внутри каждой из фаз, имеющих локальную неоднородность по концентрации компонентов. При этом, дисперсность структуры гетерогенного сплава, выражали при помощи функций, представляющих собой энергетические параметры, которые рассчитывали путем определения длины ряда пикселей цифрового исследуемого изображения расположенных последовательно в виде горизонтальных и вертикальных цепочек, состоящей из одного и того же условного цвета, описывающего конкретную структуру исследуемого сплава. При этом, расчет условного цвета производили математической обработкой металлографического изображения, основанного на разработанной ранее методике [1], вводя дополнительно параметры, описывающие мощность диссипации (рассеяния) энергии [2], а также напряжения, возникающих в результате процессов кристаллизации и термической обработки таких сплавов. При этом, поскольку при помощи лапласиана описывается функция, определяющая диссипацию энергии, то произведение лапласиана на дивергенцию трактовали как функцию мощности диссипации энергии.

Также, исходя из теории пластичности в гидродинамике [3], аналогом гидростатического давления принимали дивергенцию, относительно которой и определяли линейные деформации напряжения, задаваемые при помощи лапласиана. Поскольку угловые (касательные) деформации не зависят от гидростатического давления, то вычитывая из одного параметра другой, получали, функцию, с помощью которой можно описать напряжения (деформации), возникающие при различных технологических процессах и структурообразовании металла. По полученным данным строили гистограммы для раз-

личных исследуемых фаз. Следует заметить, что в принятой постановке задачи, в процессе математической обработки изображения, уравнения равновесия удовлетворяются не в каждом отдельном малом квадрате (зоне), а суммарно на всей области анализа.

Цель данной работы состояла в использовании разработанных ранее методов математического анализа дисперсности структуры высокоуглеродистых сплавов, в частности, высокохромистого чугуна, при помощи функций, представляющих энергетические параметры, для оценки неоднородности исследуемой структуры.

Результаты исследований

По результатам отдельно проведенных исследований, во время которых при помощи оценки дисперсности, выражаемой через энергетические параметры, были рассчитаны многочисленные признаки, описывающие структуру и свойства металлического сплава, было установлено, что наиболее тесные показатели корреляций с процессами, происходящими при структурообразовании, имеют средние значения дисперсностей функций напряжений и мощности диссипации.

В связи с этим, в работе была проведена количественная оценка дисперсности структуры металлографического изображения высокохромистого чугуна (рис.1), путем вычисления значений функций мощности диссипации и напряжений, при помощи разработанной методики. Полученные параметры дают возможность оценивать неоднородность исследуемой структуры с точки зрения таких процессов, как диффузия и деформация, протекающих на различных этапах изготовления, обработки и эксплуатации изделия.

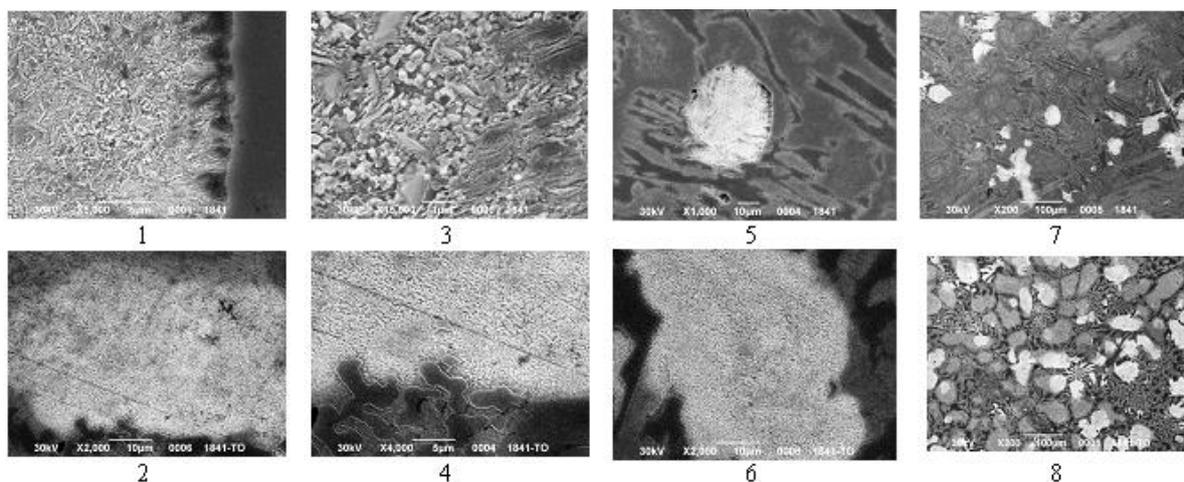


Рис.1. Микроструктуры высокохромистого чугуна: верхняя строка – литое состояние, нижняя – после термообработки (отжига). 1 - $\times 5000$; 2,6 - $\times 2000$; 3 - $\times 15000$; 4 - $\times 4000$; 5 - $\times 1000$; 7,8 - $\times 200$

Для исследуемых изображений микроструктур были построены распределения значений дисперсности функции напряжений (табл.1). Установлено, что с увеличением напряжений участки областей изображения, на которых функции напряжений, имеют нулевые (нейтральные) значения - уменьшаются, а функции с положительными и отрицательными значениями, - увеличиваются. Рассмотрим, например, величины дисперсности функции напряжений (см. табл.1) для фотографий 7 в литом состоянии и 8 после термической обработки (см.рис.1).

Если сравнить степень уменьшения 3-го и 7-го столбцов после ТО со степенью увеличения - 2-го, 4-го, 6-го и 8-го, то окажется, что уменьшение нулевых функций напряжения на порядок больше.

Таблица 1

Распределение значений дисперсности для функции напряжений

Значение дисперсности для функции напряжений									Состояние сплава
№ фото	горизонтальные				вертикальные				
	среднее	отрицательных	нулевых	положительных	среднее	отрицательных	нулевых	положительных	
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	01.730	01.121	02.879	01.116	01.656	01.118	02.731	01.119	Литое
2	01.354	01.174	01.802	01.174	01.320	01.185	01.701	01.189	После ТО
3	01.824	01.112	03.008	01.107	01.690	01.123	02.700	01.121	Литое
4	01.394	01.157	01.930	01.153	01.333	01.167	01.770	01.170	После ТО
5	01.835	01.116	03.135	01.112	01.726	01.109	02.957	01.110	Литое
6	01.358	01.166	01.832	01.164	01.324	01.183	01.725	01.185	После ТО
7	01.710	01.127	02.758	01.125	01.612	01.125	02.584	01.124	Литое
8	01.503	01.177	02.142	01.174	01.442	01.161	02.049	01.163	После ТО

Таблица 2

Изменение значения дисперсности функции напряжения в результате термообработки

Значение дисперсности (число пикселей на изображении)						№ фото	Состояние сплава
в горизонтальном направлении			в вертикальном направлении				
Для функций напряжения со значениями							
отрицательными	нулевыми	положительными	отрицательными	нулевыми	положительными		
1	2	3	4	5	6		
92322	250722	90532	96750	238262	97804	1	Литое
134163	164727	133357	143332	143986	144169	2	После ТО
82732	270418	82330	92192	249807	92717	3	Литое
124391	185797	123960	137528	157596	138260	4	После ТО
84138	261918	83539	91357	245486	91992	5	Литое
136372	174082	135566	147475	150118	147655	6	После ТО
90115	245595	89356	98320	227644	98346	7	Литое
110369	204949	109748	116352	190561	117397	8	После ТО

Так происходит приблизительно с изгибающими деформациями и напряжениями от моментов сил (вихрей) при пластических деформациях. Полная аналогия нарушена тем, что в механике сплошной среды нулевых напряжения и деформации имеют место нулевые значения. Можно предположить, что данные результаты свидетельствуют о наличии микропор или включений точечного графита в структуре металла.

Для более полного анализа рассмотрим на этом же примере зависимость изменения числа пикселей условного цвета, описывающего дисперсность функции напряжения, в результате проведенной термической обработки (табл.2).

Картина изменения значения дисперсности от термообработки, задаваемой числом пикселей на изображении, качественно совпадает с описанной выше картиной изме-

нения функций напряжения. После термообработки число пикселей с нулевым значением (2-й и 5-й столбцы) значительно уменьшаются, остальные столбцы на такое же количество пикселей увеличиваются.

В качестве иллюстрации, получено распределение значений дисперсности функции напряжений (рис.2) для изображений микроструктур 7 и 8 (см.рис.1) согласно табл.1. В первом столбце каждого из изображений приведены гистограммы для отрицательных, во втором – для нулевых, в третьем - для положительных значений функции напряжений. В верхнем ряду приведены дисперсности, относящиеся к горизонтальным, в нижнем ряду – к вертикальным направлениям распределения функции напряжений.



Рис.2. Показатели значений дисперсности функции напряжений в структуре высокохромистого чугуна в литом состоянии (7) и после отжига (8)

На основании полученных изображений, однозначно можно сделать вывод, что дисперсность нулевой (нейтральной) функции напряжения больше дисперсности - отрицательной и положительной (число пикселей, следующих друг за другом во втором столбце намного больше, чем в первом и третьем). По рассчитанным таблицам дисперсность нулевых функций напряжений вдвое меньше, чем у отрицательных.

Аналогично, для исследуемых изображений микроструктур были получены распределения значений дисперсности функции мощности диссипации (табл.3).

Таблица 3

Изменение значения дисперсности функции мощности диссипации в результате термообработки

Значение дисперсности									Состояние сплава
горизонтальные					вертикальные				
Для функций мощности диссипации									
Фото	среднее	отрицательных	нулевых	положительных	среднее	отрицательных	нулевых	положительных	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	02.277	01.004	02.863	01.840	02.253	01.007	02.713	01.938	Литое
2	01.979	01.015	01.795	02.294	02.050	01.024	01.695	02.546	После ТО
3	02.270	01.001	03.007	01.664	02.166	01.001	02.695	01.770	Литое
4	01.961	01.014	01.924	02.127	02.034	01.028	01.765	02.440	После ТО
5	02.375	01.003	03.129	01.789	02.371	01.002	02.945	01.961	Литое
6	01.986	01.020	01.824	02.277	02.066	01.030	01.716	02.559	После ТО
7	02.195	01.004	02.752	01.784	02.187	01.003	02.575	01.950	Литое
8	01.946	01.013	02.133	01.898	01.989	01.014	02.039	02.074	После ТО

Для этих расчетов характерно следующее. Для значений вертикальных дисперсностей отмечается повышение после термической обработки числа локальных областей с пикселями, в которых возрастают значения величин лапласианов и количество условных цветов, соответствующих ферритным структурам с повышенным содержанием углерода. Очевидно, такие локальные области можно отнести к зонам повышенной плотности дислокаций.

Число таких локальных зон, как следует из табл.4, где представлена зависимость изменения числа пикселей условного цвета, описывающего дисперсность функции мощности диссипации, в результате проведенной термической обработки на порядок меньше, чем зон, где мощность диссипации нейтральна и положительна. Но они, очевидно, оказывают существенное влияние на структуру металлической матрицы в результате различных процессов, приводящих к рассеянию энергии, таких, как кристаллизация, термическая обработка, пластическая деформация.

Таблица 4

Изменение значения дисперсности функции мощности диссипации в результате термообработки

Значение дисперсности (число пикселей на изображении)						№ фото	Состояние сплава
в горизонтальном направлении			в вертикальном направлении				
Для функций мощности диссипации со значениями							
отрицательными	нулевыми	положительными	отрицательными	нулевыми	положительными		
1	2	3	4	5	6		
8588	252912	172076	8953	241100	182763	1	Литое
17160	169870	245217	19738	149985	261764	2	После ТО
7583	271659	156238	9061	251851	173804	3	Литое
15252	188643	230253	18188	161227	253969	4	После ТО
8304	262715	158576	8443	246753	173639	5	Литое
17163	178458	250399	20330	155437	269481	6	После ТО
9386	246829	168851	10149	229363	184798	7	Литое
14340	209244	201482	14072	194909	215329	8	После ТО

Предположили, что, по аналогии, можно рассматривать процессы, происходящие в гидродинамике, а также во многих других областях. Дисперсности плотности дислокаций при этом меняются не существенно (уменьшаются от термообработки, см. столбцы 2 и 6 табл.4). При сравнении степени уменьшения значений функций в 3-м и 7-м столбцах после термической обработки со степенью увеличения в 4-м и 8-м, выявили уменьшение нейтральной (нулевой) функции напряжений. Следовательно, при рассмотрении дисперсности функции мощности диссипации, также можно сделать заключение, что некоторая ее часть тратится на порообразование.

Выводы

Из проведенных исследований следует, что термическая обработка значительно влияет на изменение знака функций напряжений и мощности диссипации в высокохромистых чугунах – резко увеличивается количество параметров с положительным и отрицательным знаком за счет уменьшения нейтральных (нулевых) функций. Что соответствует вышеизложенному анализу длины цепочек пикселей одного цвета.

Из вышеизложенного следует, что вопрос изменения знака в функции мощности диссипации представляет научный и практический интерес с точки зрения поведения различных материалов во время их производства и эксплуатации. Предварительные исследования показали, что большинство таких структур имеют положительный или

нейтральный знак функции мощности диссипации, тогда как отрицательный - наблюдается в изолированных структурах.

Показано, для значений вертикальных дисперсностей повышение после термической обработки число локальных областей с пикселями, в которых увеличиваются значения величин лапласианов и количество условных цветов, соответствуют ферритным структурам с повышенным содержанием углерода. Очевидно, такие локальные области можно отнести к зонам повышенной плотности дислокаций.

Литература

1. Скобло Т.С. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна /Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин// "Заводская лаборатория. Диагностика материалов".-2012.-№ 6 (78).- С.35-42
2. Скобло Т. С., Ключко О. Ю., Белкин Е. Л., Сидашенко А.И. Математический анализ дисперсности структуры металлических сплавов // Сталь (в редакции)
3. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П.Роуч -М.: Мир, 1980. - 616с.

Summary

Klochko O. Yu. Application of optical-mathematical analysis methods of dispersion of high carbon alloys structure

In the present paper we carry out the heterogeneity estimation for high chromium cast iron via methods of optical-mathematical analysis. This includes the assessment of dispersion structure using the parameters that describe the function of energy and stress dissipation resulting from the structure formation processes of such alloys.

We show that heat treatment significantly affects the change in the sign of stress functions of strain and power dissipation for the high chromium cast iron. The number of parameters with positive and negative sign increases dramatically because of reducing the neutral (zero). This corresponds to the above analysis of the chains length of pixels of the same color.

As it follows from the current research, change of sign in the function of dissipation power is a matter of scientific and practical interest from the point of view of the behavior of various materials during their production and use. The preliminary studies have shown that most of these structures have positive or neutral sign of power dissipation function, while a negative sign is observed in isolated structures.

It is shown that for vertical dispersity values of fineness of the vertical heat treatment after increasing the number of local areas with pixels in which the values are increased and co-Laplacians amount of conventional colors correspond ferrite structures with increased carbon content. Obviously, such local area can be attributed to regions of increased dislocation density.

Key words: *dispersity, optical-mathematical processing, high carbon alloy*

References

1. Skoblo T.S. Primenenie kompyuternogo analiza metallograficheskikh izobrazheniy pri issledovanii strukturyi vyisokhromistogo chuguna /T.S.Skoblo, O.Yu. Klochko, E.L. Belkin// "Zavod-skaya laboratoriya. Diagnostika materialov".-2012.-No 6 (78).-PP.35-42
2. Skoblo T. S., Klochko O. Yu., Belkin E. L., Sidashenko A.I. Matematicheskiy analiz dispersnosti strukturyi metallicheskih splavov // Stal (v redaktsii)
3. Rouch P. Vyichislitel'naya gidrodinamika / P.Rouch -M.: Mir, 1980. – 616 p.