

УДК 669.017.3

**ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НЕОДНОРОДНОСТИ КАРБИДОВ
ГЕТЕРОГЕННЫХ СПЛАВОВ МЕТОДОМ ОПТИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
ПРИ ПОМОЩИ ИЗМЕНЧИВОСТИ УСЛОВНЫХ ЦВЕТОВ**

Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л., Тришевский О.И.

*(Харьковский национальный технический университет
сельского хозяйства им.П. Василенко)*

Разработаны оценочные параметры, позволяющие при исследовании структур гетерогенных сплавов учитывать значительный разброс по концентрации компонентов (степень неоднородности), в выявленных соответствующих фазах, отличающихся концентрацией компонентов

Введение. В связи с неуклонной тенденцией в современной промышленности к росту удельных нагрузок на рабочие органы машин и агрегатов, работающих в условиях интенсивного износа, а, в ряде случаев, и термоциклических воздействий, актуальной остается проблема повышения их эксплуатационной стойкости. Все чаще для изготовления таких изделий используют белые износостойкие, в частности, высокохромистые чугуны, представляющие собой сложнолегированные многокомпонентные сплавы, характеризующиеся высокой износо-, жаро- и коррозионной стойкостью в эксплуатации.

Особенности структурообразования этих чугунов, включая первичную кристаллизацию и превращения в твердом состоянии, играют исключительно большую роль в формировании их свойств. Основными фазами высокохромистых чугунов являются карбиды различных типов, аустенит и продукты его распада [1], но возможно появление и других избыточных стабильных и нестабильных фаз, кристаллизующихся в результате ликвационных явлений. Это определяет специфические свойства таких чугунов, оказывает существенное влияние на прочностные характеристики металла и в то же время создает значительные трудности при производстве и эксплуатации изделий из этих сплавов. Их стойкость существенным образом зависит от степени неоднородности и стабильности фазового состава сплава.

Высокохромистые чугуны, благодаря формированию в них специальных карбидов, отличаются стабильностью эксплуатационных свойств. Вместе с тем, одним из существенных недостатков таких материалов является наличие большой доли остаточного аустенита, вследствие торможения высокой концентрацией (15-18%) хрома диффузионных процессов при кристаллизации. При этом распад и превращение остаточного аустенита могут произойти при эксплуатации изделия в условиях термоциклических воздействий и высоких

удельных давлений, что будет сопровождаться ростом напряжений, трещинообразованием и приводит к разрушению изделия.

Поэтому при принятии решения об эксплуатации изделий из таких чугунов, важно получить более глубокие представления о составе и соотношении фазовых составляющих, формирующихся в период процессов кристаллизации, термообработки с распадом остаточного аустенита на этих этапах; установить тип и параметры выделения фаз при кристаллизации литых изделий.

На протяжении ряда лет в этом направлении проводили исследования, заключающиеся в комплексном выявлении структур гетерогенных высоколегированных сплавов, при использовании различных методик, таких как оптическая и электронная микроскопия, рентгенографические, микрорентгеноспектральные, измерения микро- и нанотвердости, коэрцитивной силы и др. [2-9]. Также, учитывая высокую структурную и химическую неоднородность таких чугунов, для более глубокого анализа разработана специальная методика оптико-математического исследования металлографических изображений, основанная на гидродинамических аналогиях, с применением уравнений Навье-Стокса и оценкой формируемых фаз (описывает их диффузионные процессы, изменения плотности), в том числе, при дисперсионном твердении [10]. При этом неоднородность распределения химических элементов, определяющую различия в стехиометрическом составе выявленных фаз, выражали через абсолютное значение лапласиана в каждой точке изображения.

Однако, такие структуры имеют сложное, неоднородное строение, поскольку, из-за высокой степени легированности, широкого интервала фазовой перекристаллизации, морфология, стехиометрический состав, образующихся в них отдельных включений, будет зависеть от множества факторов, предсказать которые не всегда представляется возможным.

Поэтому дальнейшая разработка методов и подходов, позволивших оценить подобные структуры, являются важными и актуальными.

Цель и задачи исследования. Разработка оценочных параметров, позволяющих при исследовании структур гетерогенных сплавов учитывать значительный разброс по концентрации компонентов (степень неоднородности), в выявленных соответствующих фазах, отличающихся концентрацией компонентов.

Методы исследования. В качестве критерия, оценивающего степень неоднородности таких сплавов, ввели понятие изменчивости. Под изменчивостью фазы понимаем микроликвацию в ней химических элементов сплава и формирование дефектов кристаллического строения (дислокаций) с выделением компонентов, их декорирующих. К таким компонентам, в первую очередь, относятся углерод и кислород. Это подтверждено специальными комплексными исследованиями с использованием микрорентгеноспектрального анализа, оптической и электронной микроскопии, термоэлектронной эмиссии после специального вакуумного травления.

За основу расчетов была взята схема расположения вычисляемых значений на изображении металлографической структуры, принятая в ранее опубликованных работах [4, 10]. Изображение в цифровом виде разбивалось на области, содержащие определенное количество пикселей (матрица размерностью $n \times m$). Обработку такой матрицы производили путем последовательного сканирования каждого ее пикселя (точки), задавая его как среднюю точку, находящуюся внутри ячейки заданного размера (например, 3×3 пикселя).

Тогда под изменчивостью состава в одной конкретной точке фазы в выбранной области изображения, принимали соотношение, т.н., показателя изменчивости (числа совпадений условного цвета средней точки с цветами окружающих ее $(n \times m) - 1$ точек) к количеству всех точек в анализируемой области.

Также для каждой выбранной области вычисляли количественное соотношение выявленных фаз.

Анализ проводили при помощи оптико-математического метода, где значения условного цвета, в каждой точке описывали согласно методике, основанной на положениях гидродинамики [11]. Статистический анализ полученных данных для оценки степени неоднородности структуры в локальных зонах, определяющих разброс концентраций компонентов в фазах, проводили способом, используя распределение Пирсона. По рассчитанным значениям строили гистограммы цветов и изменчивостей.

Обсуждение полученных результатов. Для подтверждения в легированных чугунах изменчивости фаз, которое имеет место как в границах одного зерна, так и – отдельных фаз, в работе были исследованы изображения микроструктур карбидов группы таких сплавов.

Для оценки степени неоднородности, образовавшейся в результате микроликвации химических элементов, при кристаллизации сплавов и после низкотемпературной циклической термообработки, направленной на максимальный распад остаточного аустенита приведен на рис.1 (структуры 1-16).

Для оценки степени неоднородности, полученной в результате формирования дислокаций, были исследованы фотографии структур (карбидов) в зоне деформации [1], выполненных при травлении в вакууме (см.рис.1, структуры 17-19).

В проведенных ранее исследованиях [2], весь диапазон, получаемых в результате математического анализа условных цветов, выражающихся в полутонах серого от 0 до 255, для упрощения расчетов, был разбит на 16 дискретных интервалов - номеров условного цвета (в дальнейшем, просто цвета). Полученные значения описывают три группы фаз: состоящие из α – фаз с различным типом совершенства кристаллической решетки, которые назвали - фазы феррита; группу - аустенита и группу карбидов. Каждой условной группе соответствует следующий интервал цветов: 0-8 (цвета 0 – 146) – 1-я группа фаз феррита : α – фаза с различным типом совершенства кристаллической решетки (в том числе, игольчатые структуры) и различающиеся химическим составом; 9-10 (цвета 147- 164) – 2-я группа фаз аустенита, также неоднородна по

химическому составу; 11-16 (цвета 165 – 255) – 3-я группа карбидов, где входящие в интервал от 11 до 12 – карбиды цементитного типа, от 13 до 16 – принадлежат к различным фазам спецкарбидов всех типов, выделившимся в различном интервале фазовой перекристаллизации.

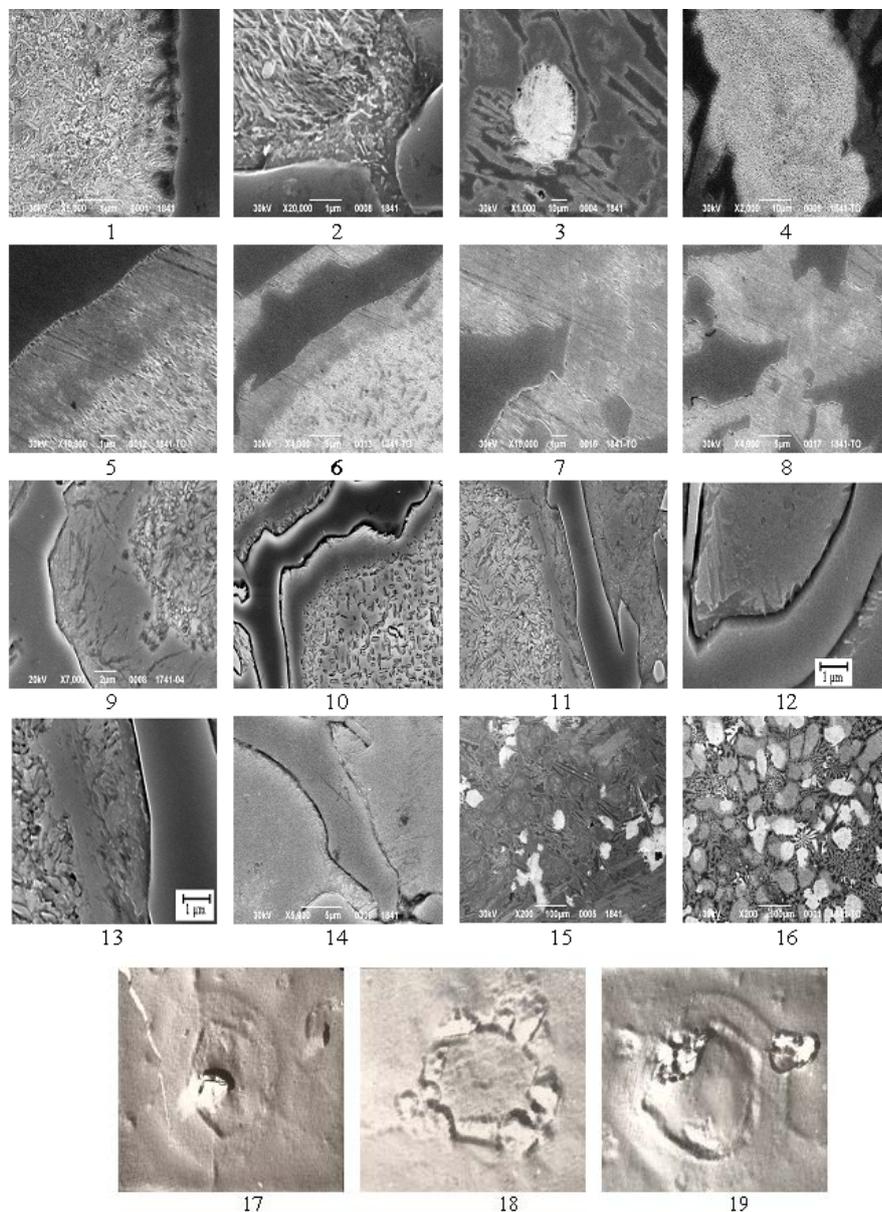


Рисунок 1 - Изображения исследуемых микроструктур высокохромистых валковых чугунов (15-18%Cr): 1-16 - фотографии получены методом РЭМ при ускоряющем напряжении 30кВ; 17-19 - фотографии получены методом вакуумного травления. На фотографиях 1-3, 9-15 - структуры в литом состоянии; 4-8, 13 – после низкотемпературной циклической термообработки; 17-19 – изменения в ямках травления карбидов, вызванные напряжениями в результате магнитострикционного эффекта. Фотографии имеют следующие увеличения: 1, 10, 11, 14 x5000; 2, x20000; 3, x1000; 4, x2000; 5,7,12,13, x10000; 6,8, x4000; 9, x7000; 15, 16, x200; 17-19, x450

Построены гистограммы распределения интервалов условных цветов, описывающих среднее количество выявленных фаз по площади исследуемых изображений (табл.1).

Таблица 1 - Гистограммы распределения среднего значения условного цвета на исследуемых изображениях

Номера цветов																№ фото
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Распределение условных цветов, %																
26.5	0.0	0.0	0.0	03.9	24.7	0.0	0.0	0.0	06.6	16.4	0.0	0.0	0.0	05.4	16.6	1
15.2	0.0	0.0	0.0	0.7	28.0	0.0	0.0	0.0	14.5	24.7	0.0	0.0	0.0	02.1	14.8	2
07.0	0.0	0.0	0.0	0.7	40.0	0.0	0.0	0.0	21.4	21.1	0.0	0.0	0.0	03.6	06.3	3
32.3	0.0	0.0	0.0	11.1	18.2	0.0	0.0	0.0	05.4	12.0	0.0	0.0	0.0	07.2	13.8	4
15.6	0.0	0.0	0.0	10.4	19.7	0.0	0.0	0.0	12.0	26.2	0.0	0.0	0.0	01.6	14.5	5
31.9	0.0	0.0	0.0	0.5	22.2	0.0	0.0	0.0	07.7	14.6	0.0	0.0	0.0	05.9	17.3	6
29.9	0.0	0.0	0.0	0.3	08.9	0.0	0.0	0.0	07.0	25.0	0.0	0.0	0.0	01.7	27.2	7
29.0	0.0	0.0	0.0	0.5	14.3	0.0	0.0	0.0	09.4	22.6	0.0	0.0	0.0	01.7	22.5	8
10.9	0.0	0.0	0.0	0.7	30.6	0.0	0.0	0.0	10.6	28.7	0.0	0.0	0.0	01.7	16.7	9
18.4	0.0	0.0	0.0	09.4	24.5	0.0	0.0	0.0	08.4	17.3	0.0	0.0	0.0	0.9	21.2	10
14.7	0.0	0.0	0.0	0.6	18.0	0.0	0.0	0.0	14.8	30.9	0.0	0.0	0.0	0.5	20.4	11
03.9	0.0	0.0	0.0	01.7	18.9	0.0	0.0	0.0	34.0	30.9	0.0	0.0	0.0	0.1	10.5	12
04.8	0.0	0.0	0.0	01.1	37.7	0.0	0.0	0.0	20.4	23.9	0.0	0.0	0.0	0.2	11.8	13
22.6	0.0	0.0	0.0	0.5	02.1	0.0	0.0	0.0	02.2	28.9	0.0	0.0	0.0	0.6	42.9	14
07.5	0.0	0.0	0.0	0.9	29.3	0.0	0.0	0.0	20.3	29.5	0.0	0.0	0.0	03.0	09.5	15
20.7	0.0	0.0	0.0	06.1	21.4	0.0	0.0	0.0	09.6	20.6	0.0	0.0	0.0	06.8	14.7	16
23.9	00.0	00.0	00.0	00.2	01.6	00.0	00.0	00.0	01.7	31.9	00.0	00.0	00.0	02.3	38.3	17
79.4	00.0	00.0	00.0	00.0	01.1	00.0	00.0	00.0	01.1	05.2	00.0	00.0	00.0	01.2	12.0	18
28.2	00.0	00.0	00.0	00.0	03.5	00.0	00.0	00.0	03.6	25.5	00.0	00.0	00.0	07.7	31.4	19

В результате на всех изображениях структур исследуемых высоколегированных сплавах, выявлено 7 интервалов условных цветов (см. табл.1).

В данной работе для каждой точки изображения были рассмотрены ячейки размером 3×3 , т.е. изображения вокруг каждого пикселя были разбиты на области, включающие по 9 пикселей изображений. Например, для области изображения, размерностью 3×3 пикселя, схема нумерации точек вокруг выбранной c_1 будет соответствовать рис.2 и тогда изменчивость в ней вычисляется как соотношение этого показателя к 9.

$$c_3 \cdot c_4 \cdot c_5 \cdot$$

$$c_2 \cdot c_1 \cdot c_6 \cdot$$

$$c_9 \cdot c_8 \cdot c_7 \cdot$$

Рисунок 2 - Схема нумерации точек вокруг средней c_1

В результате вычислений получаем гистограммы совпадений цветов в точках c_2, \dots, c_9 с цветом в точке c_1 .

Учитывая сложность строения таких сплавов, для уменьшения времени машинного счета, было введено упрощение. Все выявленные структуры приведены к 3-м группам фаз, включающим 16 интервалов цветов: группы феррита, аустенита и карбидов. Исходя из заданных условий разбиения всех условных цветов, выявленных на изображениях, внутри каждой из ячеек 3×3 пикселя могут присутствовать только 7 комбинаций цветов (табл.2).

Таблиця 2 - Комбинации возможных сочетаний цветов групп фаз внутри каждой ячейки изображения 3×3 пикселя

№ сочетаний групп фаз	Возможные сочетания цвета групп фаз для 9 пикселей
1	все цвета соответствуют группе фаз феррита
2	все цвета соответствуют группе фаз аустенита
3	все цвета соответствуют группе карбидов
4	одновременно цвета групп фаз феррита и аустенита
5	одновременно цвета групп фаз феррита и карбидов
6	одновременно цвета групп фаз аустенита и карбидов
7	одновременно цвета групп фаз феррита, аустенита и карбидов

Переход к рассмотрению 3-х групп фаз можно рассматривать как процесс обработки изображения в трех цветовых интервалах, соответствующих этим группам: фактически, в работе, полученные матрицы значений условных цветов, были приведены к трехцветным матрицам. При их обработке программой проводили последовательное сканирование каждого пикселя (точки) матрицы фотографии.

При оценке количественного соотношения выявленных фаз, были получены гистограммы, состоящие из 3-х значений, соответствующих каждой из групп фаз, по следующему алгоритму. Количество цветов, соответствующих первой группе фаз, в результате работы программы поочередно суммировались с количеством цветов второй и третьей групп фаз. Далее количество каждой из групп делится на эту сумму и умножается на 100%. Полученные в результате оценки количественные соотношения выявленных сочетаний групп фаз для исследуемых изображений представлены в табл.3.

При оценке изменчивости для каждой анализируемой области получали 3 (по числу цветов групп фаз) либо 16 (по числу условных интервалов цветов групп фаз) гистограмм по 9 чисел (по количеству пикселей в ячейке размерностью 3×3). Обходя принятую область фотографии точку за точкой, в зависимости от числа совпадений с окружающими 8-ю точками, прибавляли единицу к тому из 9 чисел, какому случаю соответствует ситуация – получали показатели изменчивости. Например, для каждого цвета, если в ячейке есть только одна точка с таким цветом, к гистограмме из 9-ти чисел прибавляется 1 к первому числу. Если две точки, то 1 прибавляется ко второму, и т.д. Если все точки одного цвета, то 1 прибавляется к 9-му числу. После обхода всех точек, каждое из полученных значений делили на число точек на выбранной области и находили среднюю изменчивость в каждой точке выбранной области.

Таблица 3 - Количественное соотношение выявленных сочетаний групп фаз внутри ячеек 3 × 3 пикселя

Количество выявленных сочетаний групп фаз, %							№ фотографии
1	2	3	4	5	6	7	
23,7	00,0	03,9	02,9	43,4	04,5	21,5	01
16,7	00,0	11,9	12,5	25,6	13,3	19,9	02
14,3	00,0	05,2	22,1	14,7	12,4	31,3	03
20,9	00,0	00,5	04,6	43,9	00,3	29,7	04
19,5	00,0	03,2	02,4	29,4	09,1	36,4	05
08,1	00,0	03,7	12,5	54,0	03,9	17,7	06
01,6	00,0	04,2	02,9	60,9	05,1	25,3	07
02,3	00,0	02,9	04,6	54,4	04,6	31,2	08
21,1	00,0	23,9	09,8	18,3	10,2	16,7	09
21,0	00,0	10,1	06,0	33,6	04,8	24,6	10
08,1	00,2	10,9	02,8	27,9	16,3	33,8	11
05,6	00,6	13,0	17,4	07,3	27,0	29,1	12
23,7	01,0	09,7	13,3	13,2	17,7	21,4	13
03,8	00,0	31,9	00,6	52,8	06,9	04,1	14
09,6	00,0	09,8	14,5	15,3	16,3	34,6	15
11,0	00,0	03,6	05,6	40,5	04,9	34,4	16
16,2	00,1	60,4	00,7	18,8	03,0	00,8	17
70,5	00,1	09,7	00,6	17,2	01,4	00,5	18
19,6	00,6	50,4	01,9	21,8	04,3	01,5	19

Далее, формально по программе складывали число совпадений по каждому столбцу, и каждый элемент столбца делили на сумму показателей изменчивости (вероятность совпадений цвета), и умножали на 100. Среднее значение изменчивости находили по формуле:

$$\bar{x} = \sum_{k=1}^n kp_k \quad (1),$$

где p_k – показатель изменчивости, $n=9$ – число точек (пикселей)

Таким образом, вычисляли изменчивость для каждой фазы. Рассматривая все фотографии можно ожидать, что по каждому столбцу имеют место разные распределения числа совпадений цвета. Причем, поскольку распределения совпадений рассматриваются по площади фотографии, то для такой задачи возможно применение распределения Пирсона, что и подтвердили расчеты.

По рассмотренному алгоритму были рассчитаны гистограммы изменчивости (табл.4), описывающие выявленные сочетания цветов групп фаз внутри ячеек размером 3 × 3 пикселя для исследуемых 19 изображений структур.

Анализируя полученные гистограммы изменчивости, четко просматривается неоднородность компонентов, формируемая в результате ликвации химических элементов при кристаллизации сплавов, а также в результате диффузии при термообработке (например, см. табл.3, структуры 2 и 4, где в первичных массивных спецкарбидах наблюдается значительная степень

неоднородности химических элементов, близкая к 50% - 4,68 точек из 9 для структуры 2 и 4,19 для структуры 4). Также на данных структурах (например, структуры 1, 2, 9) наблюдается декорирование дислокационной структуры, образовавшейся в результате фазового наклепа при распаде аустенита, выделившимися избыточными фазами (окантовка голубого цвета). Также на структурах 1,5,9 наблюдается дефектная структура внутри первичных спецкарбидов (отдельные точки желтого цвета, очевидно, зоны с увеличенной концентрацией углерода, на красном поле однородной карбидной фазы). При проведении термообработки в интервале магнитных превращений карбидов, возможно упорядочивание таких дислокационных структур, это предположение подтвердилось, его можно наблюдать на изображениях структур 4 и 5, где видно, что отдельные точки образуют определенную упорядоченную структуру в областях красного цвета. Данные результаты опровергают утверждения, что внутри первичных спецкарбидов дислокации отсутствуют, т.е. карбиды типа Me_7C_3 являются бездефектной фазой [12].

Таблица 4 - Гистограммы сочетания цветов групп фаз внутри ячеек размером 3×3 пикселя, полученные при оценке изменчивости

Среднее число выявленных сочетаний групп фаз									№ фото
4, из них		5, из них		6, из них		7, из них			
Феррит	Аустенит	Феррит	Карбиды	Аустенит	Карбиды	Феррит	Аустенит	Карбиды	
6,69	2,31	4,55	4,45	2,26	6,74	3,03	1,95	4,02	01
6,40	2,60	4,32	4,68	2,63	6,37	2,71	3,13	3,16	02
6,35	2,65	4,59	4,41	2,77	6,23	2,97	3,17	2,86	03
7,63	1,37	4,81	4,19	1,87	7,13	4,02	1,40	3,57	04
6,71	2,29	4,20	4,80	2,32	6,68	2,61	2,24	4,14	05
7,05	1,95	4,91	4,09	1,89	7,11	3,62	2,11	3,27	06
6,68	2,32	4,02	4,98	1,83	7,17	2,88	1,86	4,26	07
6,68	2,32	4,46	4,54	2,05	6,95	3,20	2,06	3,73	08
6,58	2,42	4,13	4,87	2,52	6,48	3,02	2,76	3,23	09
6,08	2,92	4,83	4,17	2,41	6,59	3,55	1,91	3,54	10
5,31	3,69	4,07	4,93	2,96	6,04	2,86	2,22	3,92	11
4,19	4,81	4,02	4,98	3,71	5,29	2,47	4,14	2,39	12
5,07	3,93	3,94	5,06	3,64	5,36	2,93	2,83	3,24	13
6,91	2,09	3,34	5,66	1,63	7,37	2,87	1,90	4,23	14
6,38	2,62	3,96	5,04	2,61	6,39	2,88	2,96	3,16	15
7,24	1,76	4,42	4,58	2,09	6,91	3,34	1,94	3,72	16
4,84	4,16	4,20	4,80	2,98	6,02	2,81	2,91	3,28	17
4,99	4,01	5,01	3,99	3,57	5,43	2,49	3,24	3,27	18
4,98	4,02	4,36	4,64	3,61	5,39	2,81	3,08	3,11	19

На рис. 3, представлены гистограммы выявленных сочетаний групп фаз для изображений 1-16 высокохромистых чугунов (см. рис. 1).

Для подтверждения полученных результатов, с целью однозначного выявления дислокационной структуры в виде рельефа, образованного напряжениями в результате магнитострикционного эффекта, вокруг единично растравленной в вакууме дислокации карбидной фазы (структуры 17-19, см. рис. 1), были проведены исследования с помощью эмиссионного электронного микроскопа EF-6 фирмы Karl Zeiss при температурах травления 250-550°C.

Наблюдаемые фигуры травления представляли собой фигуры правильной формы. В изображениях: 17 – выявлена структура внутри ямки травления; 18 - структура в зоне вокруг растравленной фигуры; 19 - структура внутри области ямки травления и в зоне вокруг нее. Доказательством того, что наблюдаемые фигуры травления соответствуют местам выхода дислокаций, является: наличие фигур травления правильной формы, перемещение и взаимодействие их при термическом травлении, повышение плотности в процессе фазового наклепа, выявление субмикроструктуры [13].

Полученные значения позволяют провести предварительную оценку степени неоднородности фазового состава сплава и значительно уменьшают время расчетов, тогда как для более углубленной оценки, необходимо рассматривать все сочетания условных цветов, входящих в эти группы фаз. Для этого, по результатам проведенных исследований для фотографий дислокационных структур, сформирована табл.5 соответствия выявленных при анализе номеров сочетаний групп фаз (см. табл.2), - входящих в них интервалов условных цветов внутри каждой ячейки изображения размером 3×3 пикселя.

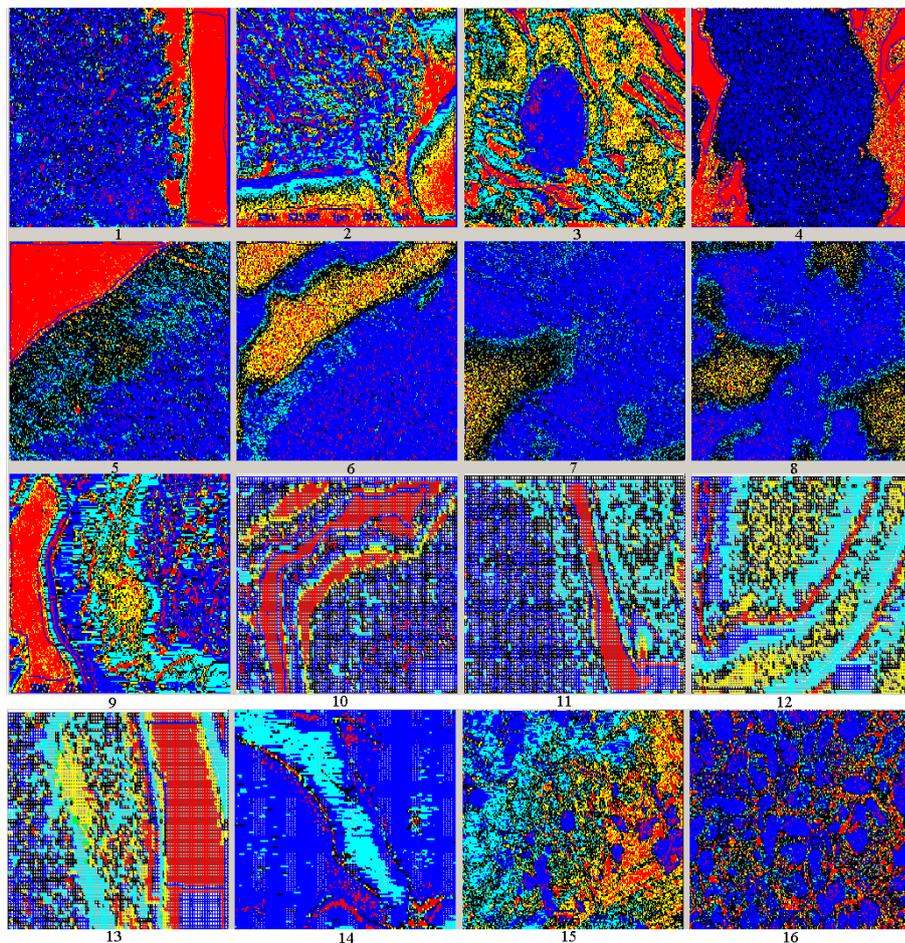


Рисунок 3 - Гистограммы выявленных сочетаний групп фаз для изображений 1-16 высокохромистых чугунов (см. рис.1, табл.2): зеленый цвет – соответствует сочетанию 1; красный – 3; желтый – 5; синий – 5; голубой – 6; черный - 7

Для полученных изображений были рассчитана степень неоднородности структуры, см. табл. 4, а также построены гистограммы распределения изменчивости в графическом виде (рис. 4).

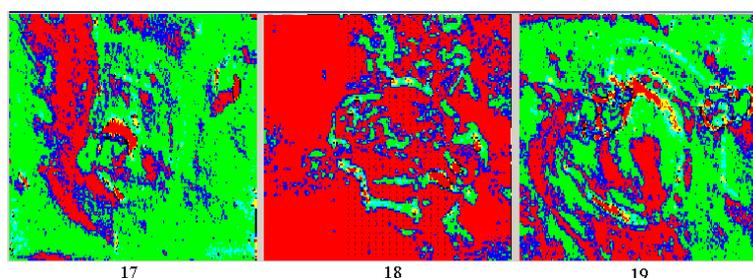


Рисунок 4 - Гистограммы выявленных сочетаний групп фаз для изображений 17-19 дислокационной структуры чугунов (см. рис.1, табл.2): зеленый цвет – соответствует сочетанию 1; красный – 3; желтый – 5; синий – 5; голубой – 6; черный – 7

Таблица 5 - Соответствие выявленных номеров сочетаний групп фаз интервалам условных цветов

Выявленные сочетания цветов			Номера сочетаний групп фаз	Количество сочетаний, % на фотографии №		
				17	18	19
01	0	0	1	15.2	69.7	17.4
06	0	0	1	00.0	00.0	02.1
11	0	0	3	15.9	02.1	13.6
15	0	0	3	01.7	00.0	03.9
16	0	0	3	15.5	04.0	13.6
11	16	0	5	27.2	03.4	17.5
01	16	0	5	15.8	13.0	14.2
01	15	0	5	01.3	02.7	05.5
10	11	0	6	02.8	01.3	03.9
06	10	0	4	00.0	00.0	01.9
15	16	0	3	00.0	00.0	01.8
01	11	16	5	01.4	01.5	01.6
06	10	11	7	00.0	00.0	01.1

В качестве примера, на рис. 5, изображены гистограммы для выявленных сочетаний групп фаз (табл.5), соответствующие некоторым выявленным сочетаниям интервалам цветов для изображения 19 (см. рис.1).

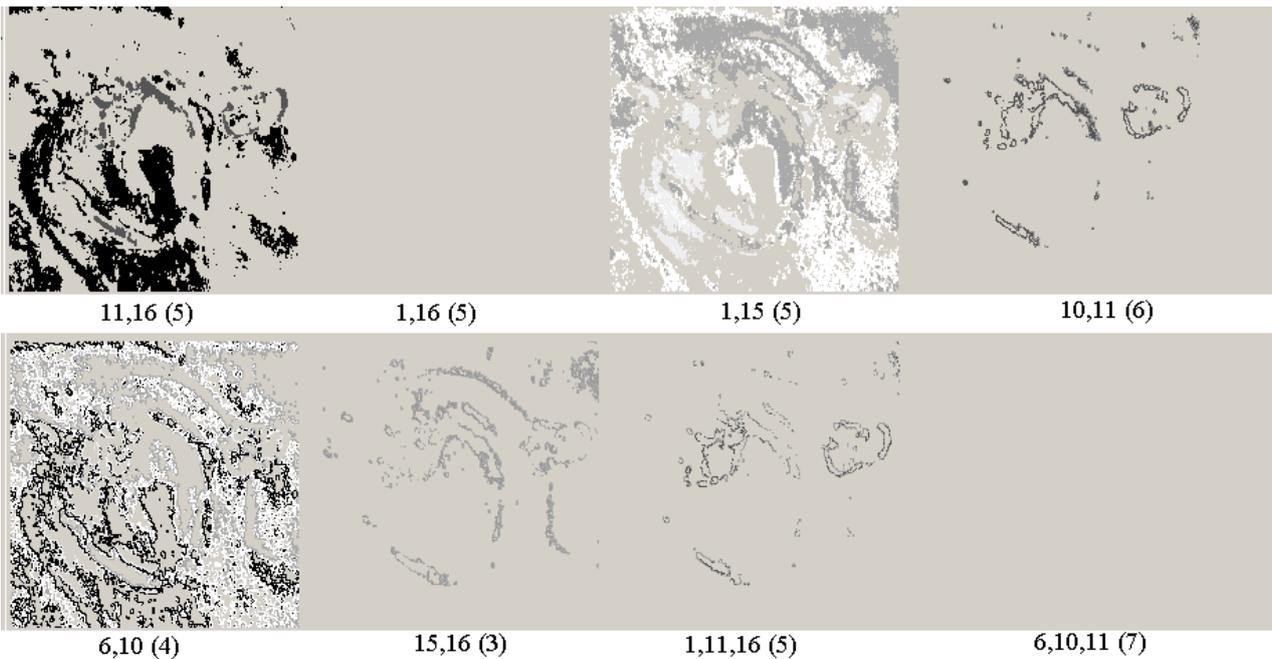


Рисунок 5 - Гистограммы выявленных сочетаний цветов (групп фаз) для изображения 19 (см. рис.1). Цифрами указаны номера сочетаний цветов (групп фаз)

Установлено, что в ячейке размером 3×3 пикселя в результате напряжений наблюдается заметное изменение соотношений в сочетаниях цветов фаз цементитного типа и спецкарбидов 11 и 15, а также цветов, соответствующих ферриту с карбидом - сочетания 1 и 16.

Выводы

В данной работе дополнена разработанная ранее методика исследования микроструктур гетерогенных сплавов с использованием оптико-математического анализа, предложены новые параметры для оценки такой структуры – изменчивости, описывающие причины степени неоднородности по концентрации компонентов в выявленных фазах даже одинакового типа.

Список литературы:

1. Производство и применение прокатных валков. Справочник: под ред. проф. Скобло Т.С. / Т.С. Скобло, А.И.Сидашенко, Н.М.Александрова, О.Ю. Ключко [и др.] // Харьков: ЦД №1, 2013. – 572с.
2. Скобло Т.С. Исследование структуры высокохромистого комплекснолегированного чугуна с применением методов математического анализа. /Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин// Сталь.–2012.–№ 3.–С.46-52.
3. Исследования микроструктур гетерогенных сплавов методом математического анализа при помощи сочетаний условных цветов и абсолютных значений лапласианов. /Тришевский О.И., Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л.

//«Промышленность в фокусе». - №7 (31) - 2015. – С.52-56.

4. Особенности износа ножей для переработки сахарной свеклы / Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин [и др.] //Сб. трудов Междун. научно-практич. конф. «Развитие науки, образования и культуры независимого Казахстана в условиях глобальных вызовов современности», посвященный 70-летию ЮКГУ им. М.Ауэзова. – Казахстан, Шымкент, 2013. – С.185-197.

5. Скобло Т.С. Оценка структурообразования при деформации в малоуглеродистых сталях /Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Г.Я. Безлюдько [и др.] //Сталь. – №9, 2014. – С.65-70.

6. Определение микротвердости структурных составляющих высокохромистых чугунов в результате математической обработки их изображений / [Скобло Т.С., Ключко О.Ю., Белкин Е.Л.] // Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Вип. 151 «Проблеми надійності машин та засобів механізації с/г виробництва». – Х., 2014. – С.183-189.

7. Особенности износа деталей топливной аппаратуры современных дизельных двигателей /Т.С.Скобло, А.И.Сидашенко, А.В.Плугатарев, О.Ю.Ключко [и др.]. //Проблеми трибології (Problems of Tribology) [Міжнародний науковий журнал]. - №1, 2014. – С.6-13.

8. Повышение точности оценки усилий при прокатке полосы /О.И.Тришевский, М.В.Салтавец // Сталь. – №5, 2014. – С.53-58.

9. Разработка методов оценки структуры рельсов, закаленных ТВЧ / Т.С.Скобло, О.Ю. Ключко, Е.Л. Белкин [и др.] //Сталь. – №3, 2014. – С.74-82.

10. 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

11. Скобло Т.С. Обоснование применения понятий уравнений гидродинамики Навье-Стокса для анализа металлографических изображений. /Скобло Т.С., Белкин Е.Л., Ключко О.Ю. //Materiały VII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Europejska nauka XXI powieką - 2011» Volume 21. Techniczne nauki: Przemysł. Nauka i studia - С.94-96.

12. Особенности формирования структурно-фазового состояния, дислокационная структура и внутренние напряжения высокохромистого чугуна модифицированного ультрадисперсными частицами / А.П. Зыкова, Н.А. Попова, И.А. Курзина // Современное материаловедение: материалы и технологии новых поколений [Сборник трудов] – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С.14-18.

13. Скобло Т.С. Применение эмиссионного микроскопа для исследования структуры и свойств чугуна /Т.С.Скобло, Н.И.Сандлер, С.И.Рудюк [и др.] // "Заводская лаборатория".–1972.-№ 8.-С.963-966

Анотація**Оцінка ступеня неоднорідності карбідів гетерогенних сплавів методом оптико-математичного аналізу за допомогою мінливості умовних цвітів**

Скобло Т.С., Клочко О.Ю., Белкін Ю.Л., Тришевський О. І.

Розроблено оціночні параметри, що дозволяють при дослідженні структур гетерогенних сплавів враховувати значний розкид по концентрації компонентів (ступінь неоднорідності), у виявлених відповідних фазах, що відрізняються концентрацією компонентів

Abstract**Estimation of the degree of inhomogeneity carbides heterogeneous alloys by optical-mathematical analysis by variation conventional color**

Skoblo T.S., Klochko O.Yu., Belkin E.L, Trishevskij O. I.

Estimation parameters were developed to allow the study of the structures of heterogeneous alloys into account the significant variation in the concentration of the components (the degree of inhomogeneity), identified in the respective phases, differing concentrations of components