УДК 51-74:669.017.3

МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ ПРИ НАПЛАВКЕ ВОССТАНОВЛЕННОГО СЛОЯ ИЗДЕЛИЯ

Скобло Т.С., д.т.н., профессор, Сидашенко А.И., к.т.н., профессор, Тихонов А.В., к.т.н., доцент, Рыбалко И.Н., аспирант
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко)

Разработана методика комплексного подхода для оценки структурообразования при восстановительной наплавке изношенных деталей, которая позволяет получить качественную и количественную оценку фаз, формируемых в различных зонах.

Постановка проблемы. Математическое описание структурообразования использовали для оценки распределения легирующих элементов и структур, полученных при наплавке предложенным методом [1] по сравнению с традиционным. Разработанная комплексная методика математического описания структурообразования использована для оценки:

- однородности распределения химических элементов в зоне наплавки;
- диффузии компонентов в зоне термического влияния (ЗТВ);
- однородности структурообразования по сечению всех зон, формируемых при наплавке;
- качественного и количественного фазового состава в различных зонах.

Анализ последних исследований и публикаций. Методический поход проведения исследования структуробразования этой работы имеет некоторые отличия от подходов, использованных в ранее опубликованных работах [2, 3].

В данной работе выражение базис имеет другой смысл. Под ним понимаем фрагменты на фотографиях, с помощью которых можно по уравнениям регрессии выразить долевое (%) содержание цветов на фотографиях. Строго говоря, было бы правильным называть базис, использованный в работах [2, 3] – базисом первого рода, а вновь введенный – второго рода. В дальнейшем для сокращения базис второго рода в работе назовем просто базисом, т.к. базис первого рода не используем.

Второе понятие, которое в данной работе является отличительным, хотя имеет похожий смысл, но формально оценивается с помощью другой формулы, это использование характеристики нейтральности, дивергенции и лапласиана. При этом использовали лапласианы более высоких порядков. В ранее приведенных работах нейтральность основывалась на том, что алгебраическая сумма дивергенций, лапласианов на достаточно большом числе точек всегда будет равна нулю. В работе [2] нейтральность подсчитывали на малых фрагментах 6 на 6 пикселей, а в данной – на самих рассматриваемых точках, входящих в формулы определения этой характеристики (см. формулы (1), (11) и (12)). Исходя из того, что анализируемая структура наплавленного слоя и зон термического влияния отличались повышенной дисперсностью и тонкими границами зерен, то это потребовало для достоверного их описания использовать характеристики более высоких порядков. Естественно, новая постановка решения задач придает несколько иной физический смысл понятию нейтральности. Для сокращения времени счета перешли на использование новых зависимостей.

Цель работы. Разработать методику комплексного подхода для оценки структурообразования при восстановлении изношенных деталей наплавкой, которая позволит получить качественную и количественную оценку фаз, формируемых в различных зонах.

Изложение основного материала. При анализе фотографий микроструктур различных зон при наплавке все пиксели последовательно просматриваются компьютером. Каждый пиксель имеет числовую характеристику от 0 до 255; 0 – самая темная точка, 255 – самая яркая. Вокруг каждого пикселя (или точки) для сокращения, имеется множество окружающих ее точек. В работе рассматривалось 24 точки вокруг средней. Это необходимо для того, чтобы можно было вычислять конечно разностные производные до 4-го порядка включительно. Схема расположения точек вокруг средней с номером строки i и номером столбца j показана на рис. 1.

$$
\begin{matrix}
c_{i-2\,j-2}. & c_{i-2\,j-1}. & c_{i-2\,j}. & c_{i-2\,j+1}. & c_{i-2\,j+2}. \\
c_{i-1\,j-2}. & c_{i-1\,j-1}. & c_{i-1\,j}. & c_{i-1\,j+1}. & c_{i-1\,j+2}. \\
c_{ij-2}. & c_{ij-1}. & c_{ij}. & c_{ij+1}. & c_{ij+2}. \\
c_{i+1\,j-2}. & c_{i+1\,j-1}. & c_{i+1\,j}. & c_{i+1\,j+1}. & c_{i+1\,j+2}. \\
c_{i+2\,j-2}. & c_{i+2\,j-1}. & c_{i+2\,j}. & c_{i+2\,j+1}. & c_{i+2\,j+2}.
\end{matrix}
$$

Рисунок 1 - Схема расположения точек вокруг средней точки с номером строки i и номером столбца j. Обозначение: c_{ij} - цвет точки в формате bmp 256 цветов (с учетом цвета 0). В общем случае все цвета могут быть разными.

Для сокращения дальнейших записей присвоили указанным текущим точкам номера, как показано на рис. 2, т.е. точке с индексами ij присвоен номер 1, с индексами $ij-1$ – номер 2, и так далее.

$$
\begin{matrix}
c_{12}. & c_{13}. & c_{14}. & c_{15}. & c_{16}. \\
c_{11}. & c_{3}. & c_{4}. & c_{5}. & c_{17}. \\
c_{10}. & c_{2}. & c_{1}. & c_{6}. & c_{18}. \\
c_{25}. & c_{9}. & c_{8}. & c_{7}. & c_{19}. \\
c_{24}. & c_{23}. & c_{22}. & c_{21}. & c_{20}.
\end{matrix}
$$

Рисунок 2 - Схема нумерации точек вокруг средней точки c_1

Для расчета вводятся следующие ниже приведенные показатели, характеризующие локальные дифференциальные соотношения между цветами (на основе конечных разностей).

Приведенные ниже формулы используются, как для построения гистограмм, преобразованных по этим зависимостям изображений, так и для получения разных фильтров и определения нормативных характеристик при сравнении их с эталонами

$$r_1 = \frac{|c_2 + c_4 + c_6 + c_8 - 4c_1|}{|c_2 - c_1| + |c_4 - c_1| + |c_6 - c_1| + |c_8 - c_1|} \quad (1)$$

Это показатель r_1 нейтральности. Потому что, в среднем, величина числителя без абсолютного значения равна нулю. Такой показатель всегда ≤1.

$$r_2 = c_1 \text{ - цвет средней точки} \quad (2)$$

$$r_3 = \frac{|c_3 + c_5 + c_7 + c_9 - 4c_1|}{|c_3 - c_1| + |c_5 - c_1| + |c_7 - c_1| + |c_9 - c_1|} \quad (3)$$

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_4 + c_6 + c_8}{5}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(c_1 - \bar{c})^2 + (c_2 - \bar{c})^2 + (c_4 - \bar{c})^2 + (c_6 - \bar{c})^2 + (c_8 - \bar{c})^2}{4}} \quad (4)$$

$$r_4 = \sigma \text{ - среднеквадратическое отклонение}$$

$$r_5 = \frac{(c_3c_4 + c_2c_1 + c_9c_8 + c_4c_5 + c_1c_6 + c_8c_7)^2}{(c_3^2 + c_2^2 + c_9^2 + c_4^2 + c_1^2 + c_8^2)(c_4^2 + c_1^2 + c_8^2 + c_5^2 + c_6^2 + c_7^2)} \quad (5)$$

$$r_6 = \frac{(c_3c_2 + c_4c_1 + c_5c_6 + c_2c_9 + c_1c_8 + c_6c_7)^2}{(c_3^2 + c_4^2 + c_5^2 + c_2^2 + c_1^2 + c_6^2)(c_2^2 + c_1^2 + c_6^2 + c_9^2 + c_8^2 + c_7^2)} \quad (6)$$

r_5 (5) и r_6 (6) это показатели однородности, потому что при одинаковых значениях цветов, входящих в формулы точек, они равны 1. А при неодинаковых - они меньше единицы. Это формула косинусов

$$r_7 = \frac{|c_2 - c_1| + |c_4 - c_1| + |c_6 - c_1| + |c_8 - c_1|}{4} \quad (7)$$

r_7 (7) – зависимость обобщенного (усредненного) градиента по абсолютной величине.

$$r_8 = |c_2 + c_4 + c_6 + c_8 - 4c_1| \quad (8)$$

r_8 (8) – показатель абсолютной величины конечно разностного лапласиана.

$$r_9 = |c_{10} - 3c_2 + 3c_1 - c_6 + c_{14} - 3c_4 + 3c_1 - c_8| \quad (9)$$

$$r_{10} = |c_{10} - 4c_2 + 6c_1 - 4c_6 + c_{18} + c_{14} - 4c_4 + 6c_1 - 4c_8 + c_{22}| \quad (10)$$

$$r_{11} = \frac{r_9}{|c_{10} - c_2| + 2|c_2 - c_1| + |c_1 - c_6| + |c_{14} - c_4| + 2|c_4 - c_1| + |c_1 - c_8|} \quad (11)$$

$$r_{12} = \frac{r_{10}}{|c_{10}-c_2|+3|c_2-c_1|+3|c_1-c_6|+|c_6-c_{18}|+|c_{14}-c_4|+3|c_4-c_1|+3|c_1-c_8|+|c_8-c_{22}|} \qquad (12)$$

$$r_{13} = |c_2 + c_4 - 2c_1| \qquad (13)$$

$$r_{14} = \frac{r_{13}}{|c_2 - c_1| + |c_4 - c_1|} \qquad (14)$$

Это показатели нейтральности выражений (9), (10) и (13). Формулы (11), (12) и (14) имеют тот же смысл, что и (1).

Формулы (8), (9), (10) и (13) являются конечно разностным аналогом формул:

$$r_8 =\approx \left|\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}\right|, \text{ если } \partial x = \partial y = 1 \qquad (15)$$

$$r_9 =\approx \left|\frac{\partial^3 c}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 c}{\partial y^3}\right|, \text{ если } \partial x = \partial y = 1 \qquad (16)$$

$$r_{10} =\approx \left|\frac{\partial^4 c}{\partial x^4} + \frac{\partial^4 c}{\partial y^4}\right|, \text{ если } \partial x = \partial y = 1 \qquad (17)$$

$$r_{13} =\approx \left|\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial c}{\partial y}\right|, \text{ если } \partial x = \partial y = 1 \qquad (18)$$

Эти формулы применяют в гидродинамике [3, 4] и других прикладных расчетах. Первую, можно назвать абсолютной величиной лапласиана (в гидродинамике - аналог абсолютная величина вихря), для второй и третьей зависимости принимаем их третьим и четвертым лапласианом. Для r_{13} в гидродинамике также имеется аналог, который в данном случае имеет значение абсолютной величины дивергенции.

Значения зависимостей (8), (9), (10), (13) получатся совпадающими с (15), (16), (17), (18) если в них допустить, что $\partial x = 1$ и $\partial y = 1$.

Известно, что для трехмерных задач гидродинамики, если они не связаны с взрывами и течением со скоростью большей скорости звука, в большинстве случаев имеет место условие несжимаемости [4]:

$$\frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial c}{\partial y} + \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \qquad (19)$$

В точках, где не выполняется это условие, все равно выполняются другие условия, связанные с законом сохранения массы, но они не входят в область этого исследования, так как условия сохранения массы зависят от времени. А в данном случае имеем готовый снимок микроструктуры. Но в точках, где не выполняется условие несжимаемости, имеют место зоны уплотнения и разряжения.

Анализируемые фотографии микроструктур металла двумерны. Тем не менее, во многих случаях имеет место:

$$\frac{\partial c}{\partial x}+\frac{\partial c}{\partial y}=0 \qquad (20)$$

Такие условия возникают, когда область состоит из одного цвета, или очень близких.

Введенная двумерная функция r_{13} связана с уплотнением и разрежением вещества в структуре металла, и играет большую роль в прогнозировании игольчатых структур.

В дальнейшем целесообразно рассмотреть конечно разностный аналог формулы:

$$\left|\frac{\partial^2 c}{\partial x \partial y}\right|, \qquad (21)$$

который при $\partial x = 1$ и $\partial y = 1$ имеет вид:

$$\left|c_1 + c_3 - c_2 - c_4\right| \qquad (22)$$

Аналог кинетической энергии в гидродинамике также можно рассматривать и для анализа фотографий. Выражение кинетической энергии имеет вид:

$$\left(\frac{\partial c}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial c}{\partial y}\right)^2 \qquad (23)$$

В конечно разностной форме предыдущее выражение при $\partial x = 1$ и $\partial y = 1$ имеет вид:

$$(c_2 - c_1)^2 + (c_4 - c_1)^2 \qquad (24)$$

Представленными здесь далеко не исчерпывается класс возможных функций. Рассматривали разные вариации зависимостей (4), (5), (6).

Например, в представленном на рис. 3, значения среднеквадратического отклонения и однородности рассчитываются по следующим формулам (25)-(27).

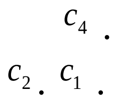

Рисунок 3 - Часть схемы рис. 2 (нумерации трех точек вокруг средней точки)

Среднеквадратичное отклонение (аналог функции (4))

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_4}{3} \qquad (25)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(c_1 - \bar{c})^2 + (c_2 - \bar{c})^2 + (c_4 - \bar{c})^2}{2}} \quad (4') \qquad (26)$$

Аналог функции однородности для этих трех точек будет выглядеть так

$$r_5 = \frac{(c_2 c_1 + c_4 c_1)^2}{(c_2^2 + c_1^2)(c_4^2 + c_1^2)} \quad (5') \qquad (27)$$

Гистограмма распределения для (27) не совпадает с гистограммой для (5).

Подобных зависимостей для схем из большего сочетания точек можно привести различное количество. Хотя при необходимости они используются в программах для обработки изображений.

Также не приведены вариации формулы (8), описание которых использовано в работах [2, 3].

Выполнена оценка аналитической связи между лапласианами, дивергенциями, а также вторыми лапласианами, однородностью и цветом пикселей.

Такая задача имеет прямой физический смысл и многочисленные расчеты показали, что такая связь существует. Физический смысл этой связи проявляется, когда она слабая между перечисленными факторами. Это может быть связано с ликвацией компонентов (неоднородным распределением). В работе показано, что введенное понятие локальной однородности значительно повышает коэффициент множественной корреляции. Это подтверждает, что исследуемые зоны неоднородны. Известно, что хорошие результаты неоднородности могут быть получены при микрорентгеноспектральном анализе. Однако его возможности также ограничены, поскольку пятно луча захватывает не только анализируемую дисперсную фазу, но и отражает зону вокруг нее и подслоя. Поэтому предложенные методики математического описания структуры являются более точными при локальных оценках.

Рассмотрим зависимости цвета от введенных функций. В ранее приведенных формулах рассматривались введенные функции, как аргументы регрессионной модели

$$c_{ij} = \sum_{k=0}^{K} a_k f_k(c_{ij}), \qquad (28)$$

где $f_0(c_{ij}) = 1$,

a_k - коэффициенты регрессии, рассчитываемые с помощью минимизации.

$$F = \sum_{i=3}^{m-2} \sum_{j=3}^{n-2} [\sum_{k=0}^{K} a_k f_k(c_{ij}) - c_{ij}]^2 = \min \qquad (29)$$

Минимизация заключается в дифференцировании F по a_k, приравнивании производной нулю, решении полученных систем уравнений (нормальная система). Значение F после решения системы нормальных уравнений отнесена к остаточной дисперсии.

Коэффициент a_k - свободный член.

В качестве функций были взяты следующие значения: лапласиана со своим знаком, однородности, нейтральности, четвертого лапласиана со своим знаком, третьего лапласиана со своим знаком, дивергенции со своим знаком.

Знаки при коэффициентах в полученных зависимостях (кроме однородности и нейтральности, т.к. эти величины всегда положительны или равны нулю) особого физического значения не имеют. Для наиболее значимых факторов знак отрицательный. Это значит, что если лапласиан положителен, то величина цвета уменьшается, а если отрицателен, то увеличивается.

Физическое значение полученных зависимостей заключается не в коэффициентах линейных моделей, а в значимости факторов. Ими оказались лапласиан и второй лапласиан, но со своими знаками, а не по абсолютной величине, как во введенных функциях. Третий лапласиан и дивергенция тоже со своими знаками оказались совершенно незначимыми факторами. Такая же закономерность характерна для всех структур. Показано, что однородность для некоторых структур очень значимый фактор. Это может свидетельствовать о том, что цвета структур наплавленного металла и основного распределяются неоднородно. При анализе сочетаний цветов это подтвердилось. Нейтральность оказалась также не значимым фактором.

Рассмотрим методику построения гистограмм распределения сочетаний одинаковых цветов на фотографиях (гистограммы Бозе) различных зон. Сочетания цветов на фотографии связаны со структурой металла. Цвета не разбросаны по полю хаотично, а подчиняются определенным правилам, которые соответствуют условиям кристаллизации металла или его пластической деформации. Выполнены сравнительные расчеты регрессионных зависимостей между процентом содержания цветов для случайных сочетаний и процентом их доли в реальных структурах. Расчеты показали, что в этом случае имеется тесная корреляционная связь.

Как известно, в статистической физике для оценок используется распределение Бозе-Эйнштейна.

На этой идее в данной работе разработан способ получения гистограмм. Рассматривается n точек (пикселей). Каждая точка может принимать m значений цветов. В задаче Бозе цвета можно рассматривать как ячейки, в которых располагаются точки. Представляет интерес задача распределения одинаковых и разных цветов среди n точек. То есть, в рассматриваемой задаче количество ячеек неизвестно.

Для примера рассмотрим распределение 4 точек по разным и одинаковым цветам, согласно гистограмм Бозе.

Сначала следует описать возможные варианты такого распределения. Может оказаться, что все 4 точки одинакового цвета. Второй вариант – 3 точки одинакового цвета, одна - не совпадающего с ними. Третий вариант: 2 точки цвета номер 1 и 2 точки цвета номер 2 или 1 точка цвета номер 3. Четвертый вариант: 2 точки цвета номер 1 и 2 точки цвета номер 2 или 1 точка цвета номер 3, и 1 точка цвета номер 4. И, наконец, пятый вариант: все точки разного цвета. В приведенном описании были использованы: цвет номер один, два, три и четыре. Цветов может быть большее число, главное, не важен сам цвет, а то, что он отличается от других, входящих в группу из четырех точек. Для четырех точек не может быть больше четырех разных цветов.

Ниже приводится табл. 1, с числовым выражением приведенных пояснений.

Таблица 1 - Распределение 4 точек по разным и одинаковым цветам, согласно гистограмм Бозе

Номер варианта	Количество разных цветов в варианте	Матрица возможных случаев			
1	1	4			
2	2	3	1		
3	2	2	2		
4	3	2	1	1	
5	4	1	1	1	1

В матрице, как и в распределении Бозе, сумма элементов всегда равна 4.

Рассмотрим два распределения: одно по количеству строк в матрице (оно соответствует второму столбцу таблицы); другое – по количеству точек, то есть, соответствует столбцам с 3-го по 6-й. В распределении Бозе также две гистограммы. При этом нельзя рассматривать только распределения по строкам или по столбцам. Наиболее достоверные результаты дают сравнения, описанных гистограмм по методу Колмогорова между строками и между столбцами с последующим перемножением вероятностей совпадения.

Рассмотрены примеры вариантов, указанных матриц, для 2, 3, 5, 8, 9, 12 и 16 точек. Эти матрицы можно получать и автоматически. Например, для 16 точек (231 строка) матрица получена в автоматическом режиме одновременно с построением гистограмм строк и столбцов.

Методически представим алгоритм построения гистограмм для идентификации структурных составляющих по цвету.

Рассмотрим алгоритм, когда задана таблица из n точек. Анализируя все точки на фотографии, для каждой из них выделяется еще $n-1$ по условленному правилу. Например, для точки с индексами ij (i- номер строки, j- номер столбца) можно рассматривать еще три точки по правилу $ij+1$, $i+1j$, $i+1j+1$. Возможно анализировать и по правилу: $ij-1$, $i-1j$, $ij+1$, $i+1j$. Согласно рис. 2 в первом случае это будут точки с цветами:

$$\begin{matrix} c_1..c_6 \\ c_8..c_7 \end{matrix}$$

Во втором случае это точки:

$$\begin{matrix} & c_4. & \\ c_2. & & .c_6 \\ & c_8. & \end{matrix}$$

Для случая 5 точек это могут быть с цветами, как показано на схеме:

$$\begin{matrix} & c_4. & \\ c_2. & c_1. & .c_6 \\ & c_8. & \end{matrix}$$

Случай 9 точек можно представить в точности рис. 2, что не исключает и других правил.

При анализе структурообразования при наплавке использовано следующее расположение 12 точек:

$$c_{ij} \quad . \; . \; . \; . \; c_{ij+3}$$

$$c_{i+1\,j} \; . \; . \; . \; . \; c_{i+1\,j+3}$$

$$c_{i+2\,j} \; . \; . \; . \; . \; c_{i+2\,j+3}$$

Для сокращения указаны не все индексы, а только крайние в каждом ряду. Для двух средних - нужно только поменять номер столбцов. Например, в первом ряду все индексы выглядят так: c_{ij}, c_{ij+1}, c_{ij+2}, c_{ij+3}.

И так далее.

Как бы не располагались точки на фотографии, для построения гистограмм, их цвета расположены подряд в одном одномерном массиве длиной n: $c_1, c_2, ..., c_n$.

Первый этап алгоритма состоит в том, что происходит сравнение цветов между собой, начиная с первого. То есть, нужно создать массив точек одинакового цвета. Если первая точка исходного массива $c_1, c_2, ..., c_n$ не имеет одинаковых цветов с остальными, то в новом массиве на первом месте будет 1. А на месте первого цвета в исходном массиве будет отрицательное число, например, минус один. В новом массиве, если это будет достигнуто, то на первом месте будет стоять количество совпадений. При этом, в первом массиве все рассмотренные одинаковые цвета заменятся минус единицами.

Следующий этап исследований – поиск первого положительного цвета в исходном массиве. Если такой цвет найдется, то начинается подсчет одинаковых цветов с заменой, подсчитанных с минус единицей. И так далее, пока все цвета исходного массива не станут равными минус единице. В результате получится требуемый массив количества одинаковых цветов. Его длина может быть равна любому числу от 1 (все цвета одинаковы) до n (все цвета разные). В этом новом массиве число совпадений цветов в общем случае не упорядочено.

Поэтому второй этап алгоритма заключается в упорядочивании массива числа совпадений цветов. Проще всего его упорядочить методом сортировки путем постепенной перестановки чисел этого массива. Но сортировка – долгая операция. Поэтому вместо нее использовали другой прием: создаем третий массив из последовательного поиска максимального во втором массиве с заменой максимального в нем минус единицей. В результате получим упорядоченный массив, соответствующий исходной матрице сочетаний одинаковых цветов. Если поэлементно сравнивать полученный массив с табличными, то всегда найдется номер такого элемента, который будет соответствовать сочетанию одинаковых цветов исходного массива. Требуемые гистограммы получаются накоплением единицы к элементу с полученным в результате работы алгоритма номера строки таблицы сочетаний цветов.

При оценке структуры по цветам для больших таблиц полный перебор по совпадению с полученным массивом всех строк является длительным процессом. Его легко можно сократить в несколько раз, если перебирать только элементы таблицы, соответствующие максимальному числу совпадающих цветов. Он основывается на том, что имея сочетания одинаковых цветов, легко составить вспомогательную таблицу массива номеров строк начала и конца максимального количества совпадающих цветов (3-й столбец табл. 2).

Видно, что только при максимальном количестве одинаковых цветов равном двум номерам строки начала, не совпадает с номером строки конца. С ростом числа точек растет и число несовпадений номеров начала и конца максимального количества одинаковых цветов.

Рассматривали алгоритм получения гистограмм распределения одинаковых цветов в случае, когда таблица одинаковых цветов задана. Если она не задана, то все этапы алгоритма, кроме последнего, остаются в силе. По мере обхода точек на фотографии происходит накопление таблицы одинаковых цветов, но чтобы узнать для новой порции точек, к какой строке относятся их сочетания, или нужно добавить это новое сочетание, следует сделать проверку по всем накопленным элементам таблицы. Обычно даже на одной (редко двух) фотографии выявляется вся таблица сочетаний цветов для рассматриваемого типа структур. Полученная таблица должна быть отсортирована сначала по второму, а потом по третьему столбцу описанных сочетаний одинаковых цветов. И расчет остальных фотографий структур следует вести по первому алгоритму.

Таблица 2 - Вспомогательный массив, состоящий из четырех точек

№ п/п	Максимальное количество одинаковых цветов, начиная с наибольшего	Номер строки начала максимального количества одинаковых цветов в таблице из четырех точек	Номер строки конца максимального количества одинаковых цветов в таблице из четырех точек
1	4	1	1
2	3	2	2
3	2	3	4
4	1	5	5

Обобщая приведенные методики для анализа фотографий микроструктур необходимо отметить следующее:

- разработанный комплексный подход математического описания структурообразования рекомендован для анализа сочетаний одинаковых цветов на фотографиях, а также для выявления близких структур;
- разработан алгоритм для описания микроструктур при восстановительной наплавке изношенных деталей, который позволит получить качественную и количественную оценку фаз, формируемых в различных зонах (наплавки, зоны термического влияния, однородность при вводе легирующих компонентов в жидкую ванну и другое);
- предложенная методика математической обработки фотографий

микроструктур позволят получить полную картину используемого процесса восстановления деталей, легирования и на основе полученной информации оптимизировать состав сплава и технологический процесс.

Список литературы:

1. Патент №48353 Україна, МПК (2009) B24B39/00. Спосіб відновлення та зміцнення деталей. / Т.С. Скобло, І.М. Рибалко, О.І. Сідашенко, О.В. Тихонов, В.В. Лоєнко, О.В. Сайчук; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - №200910791. заявл. 26.10.09.; опубл. 10.03.10., Бюл. № 5.

2. Скобло Т.С. Применение компьютерного анализа металлографических изображений при исследовании структуры высокохромистого чугуна /Т.С.Скобло, О.Ю. Клочко, Е.Л. Белкин //Заводская лаборатория. Диагностика материалов.–2012.-№ 6 (78).-С.35-42.

3. Скобло Т.С. Обоснование применения понятий уравнений гидродинамики Навье-Стокса для анализа металлографических изображений. /Т.С.Скобло, Е.Л.Белкин, О.Ю.Клочко //Materiały VII Międzynarodowej naukowi-praktycznej konferencji [Europejska nauka XXI powieką – 2011].- Przemyśl: Nauka i studia, 2011.-V. 21. - С.94-96.

4. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. - М.: Мир, 1980. – 616с.

Анотація

Методика математичної оцінки структуроутворення при наплавленні відновлювального шару виробу

Скобло Т.С., Сідашенко О.І., Тіхонов О.В., Рибалко І.М.

Розроблено методику комплексного підходу для оцінки структуроутворення відновлювальних наплавленням зношених деталей, яка дозволяє отримати якісну і кількісну оцінку фаз, що формуються в різних зонах.

Abstract

The mathematic assessment methodology of structure formation at the reduced layer facing of the detail

Skoblo T., Sidashenko A., Tikhonov A., Rybalko I.,

A methodology for complex approach was carried out. The following metrology is used for estimation of structure formation at reduces facing of worn out parts and provides qualitative and quantitative assessment of phases formed in different areas.