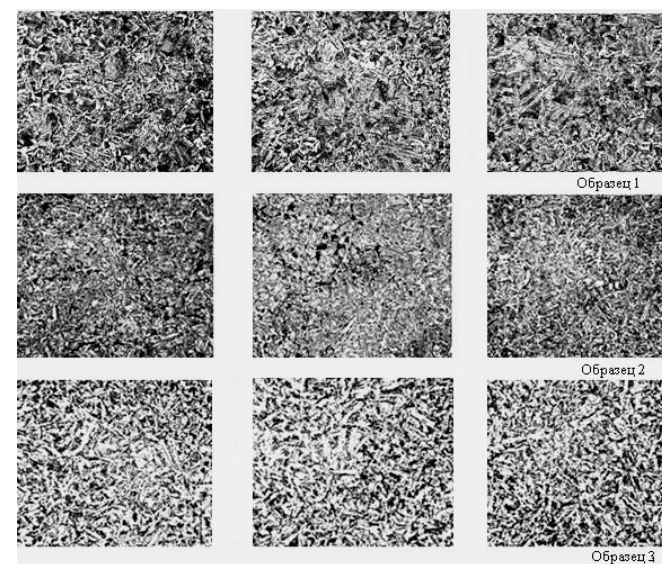




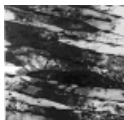



УДК 519.21**ИДЕНТИФИКАЦИЯ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА КАК ЧИСЛЕННО
НЕПРИВОДИМАЯ ЗАДАЧА****д.т.н., проф. Большаков В.И., д.т.н., проф., Дубров Ю.И., Жевтило Е.Ю.***Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

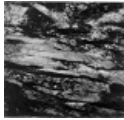
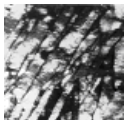

В современности в материаловедении прослеживается большое количество работ направленных на определение качественных характеристик металла основанного на анализе его структуры. Обычно, такой анализ производится по фотографиям шлифов, отображающих в заданном масштабе структуру исследуемого металла. При этом, не учитывается тот факт, что при абсолютно одинаковых условиях получения одного и того же металла (химический состав, технологические режимы его получения и т. д.) абсолютно одинаковых изображений структуры его шлифов, как правило, не наблюдается (см. например рис.1, где приведена структура стали 16Г2АФ взятая с трех шлифов, полученных при одинаковых начальных условиях).

**Рис.1**

При чем идентификация, механических свойств металла (например, стали), часто производится на основании визуальной оценки снимков его шлифов, зачастую минуя, дорогостоящие механические и другие испытания с присвоением этому металлу характеристик качества на основании интуиции и прошлого опыта как это, например, показано в таблице 1 взятой из литературы [1], и по ней цитируемой .

Таблица 1

Название структуры	Микро-структура	Инф. Неопределенность	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Бейнито-мартенситная структура		0,1612	921	888	13,1	50,3
Бейнитная структура с участками полигонального феррита		0,1016	1318	1103	6,9	30,2
Бейнитная структура с участками полигонального феррита		0,1538	1300	1140	5,2	43
Бейнито-мартенситная структура		0,1428	811	744	13,4	56,7
Реечный мартенсит		0,1332	815	778	16,5	53,6
Реечный мартенсит		0,1216	800	600	7,6	60

Название структуры	Микро-структура	Инф. Неопределенность	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Относительное сужение, %
Бейнито-мартенситная структура		0,1048	902	737	5,9	35,7
Реечный мартенсит		0,0412	921	888	6,1	45,3
Реечный мартенсит		0,0706	600	500	16,7	66

Подобный подход, к оценке качества металла, продиктован, невозможностью однозначного воспроизведения его структуры и в этой связи отнесением процесса его производства к таким, при моделировании которых наблюдаются трудности в их идентификации. Относительно недавно, ученые в области хаотической термодинамики пришли к выводу о том, что подобные процессы (турбулентные течения, вихри в атмосфере, экономические системы, биологическая эволюция) описываются только неприводимыми алгоритмами, что подтверждает известную гипотезу С. Уолфрема [2]. Причем результаты, этих алгоритмов, невозможно предсказать, не выполнив их полностью. Данный факт инициирует поиск метода формальной оценки структуры металла, инвариантной относительно неопределенности, которая возникает за счет многообразия изображений его структуры, при практически одинаковых показателях характеристик его качества. Такие задачи, встречаются достаточно часто во многих областях науки, и их принято называть численно неприводимыми.

Гипотезу о численной неприводимости задачи идентификации характеристик качества металла путем анализа его структуры, можно сформулировать следующим образом: разрешающую функцию, область

определения которой является множество растровых изображений шлифов металла, а областью значений – множество векторов характеризующих его качества, можно создать лишь путем применения алгоритма полного перебора. Вполне очевидно, что, учитывая технические и организационные трудности на этом пути, на данном этапе научно-технического прогресса следует, по крайней мере, временно отказаться от попыток решения этой задачи с помощью «чисто» аналитического аппарата. Это объясняется тем, что получение множества различных, растровых изображений шлифов одного и того же металла, при равных начальных условиях его изготовления, можно отнести к случайным событиям, неподдающимся детерминированному анализу.

В 1947 - 1948 г. американский математик и инженер Клод Шеннон указал принципиально новую область математики, истоки которой связаны с совсем элементарными соображениями о свойствах случайных событий [3].

Степень неопределенности естественно связана с числом возможных исходов - k . При $k = 1$ исход опыта вообще не является случайным и, наоборот, при больших значениях k , предсказание результата опыта весьма затруднительно¹. Невоспроизводимость изображения структуры металла, которая появляется при одинаковых условиях его изготовления, имеет вполне определенную причину. Эта причина является следствием какой-то иной причины и т. д.

Клод Шеннон, формально представил неопределенность как информационную энтропию

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i, \quad (1)$$

где P_i вероятность наступления события, в нашем случае вероятность появления того, или иного растрового изображения шлифа.

Отождествляя энтропию с информацией, Клод Шеннон пришел к выводу, о том, что количество информации, приобретаемое при полном выяснении состояния некоторой физической системы, равно энтропии этой системы.

Информационную энтропию – меру неопределенности состояния некоторой физической системы, естественно измерять количеством информации, т.е. уменьшением энтропии этой системы, после получения о ней сведений.

Энтропия $H(x)$ обладает рядом свойств, оправдывающих ее выбор в качестве характеристики степени неопределенности. Во - первых она обращается в нуль, когда одно из состояний достоверно, а остальные невозможны. Во вторых, при заданном числе состояний энтропия обращается

¹ Например, если бы изображение структуры металла, при параллельных опытах, повторялось, и было одинаковым, т.е. $k = 1$, неопределенность была бы равна нулю.

в максимум, когда эти состояния равновероятны, а при увеличении числа состояний она увеличивается. Ко всему энтропии присуще свойство аддитивности, т.е. когда несколько независимых систем объединяются в одну, их энтропии складываются¹.

На основании выше изложенного мы предлагаем, вычислять энтропию $H(x)$ структуры металла, например, стали, как сумму энтропий одинаковых по окрасу областей в изображении его шлифа (см. рис.2).

$$H(x) = \sum_1^n H(x_n) \quad \text{при} \quad H(x_n) = -\sum_1^n P(x_i) \log P(x_i) \quad (2)$$

При этом вероятность $-P(x)$ для областей с одинаковым окрасом вычисляется как отношение суммарной поверхности каждой из этих областей $-\sum_1^m s_m$, отнесенной к полной поверхности всего шлифа - s .

$$P(x) = \frac{\sum_1^m s_m}{s} \quad (3)$$

Как правило, растровые изображения шлифов, отличаются наличием близких по окрасу более светлых и более темных областей различной конфигурации. Так, например на рис.2 приведено растровое изображение шлифа содержащего бейнит -1 с остаточным аустенитом -2 для стали Ст 16Г2АФ,² где в результате вычисления соответствующих сумм площадей $S_1 = 0,48$ и $S_2 = 0,32$ вероятности соответственно равнялись $P(x_1) = 0,48$ $P(x_2) = 0,32$. После чего суммарная энтропия, для данной марки стали, равнялась $H(x) = 0,08$. Эта величина является инвариантной характеристикой, или индикатором механических свойств данной марки стали в соответствующей базе данных (см. например табл. 1).

Такой подход к вычислению геометрической вероятности является справедливым, т.к. эту вероятность можно отождествить с достаточно большим числом, случайным образом выбранных точек на заданном участке поверхности шлифа, отнесенному к относительно большому числу случайным образом выбранных точек на всей поверхности шлифа. В этом собственно состоит известный метод Монте-Карло [7,8], суть которого заключается в задаче вычисления площади сложной фигуры.

¹ Методы теории информации позволяют адекватно описывать не только процессы, происходящие в живых организмах и сообществах, но так же и различные физические процессы, (см. например [5,6]).

² Как правило, растровые изображения шлифов, отличаются наличием более светлых и более темных областей, которые различаются не только конфигурацией, но и рисунком и плотностью его окраса.

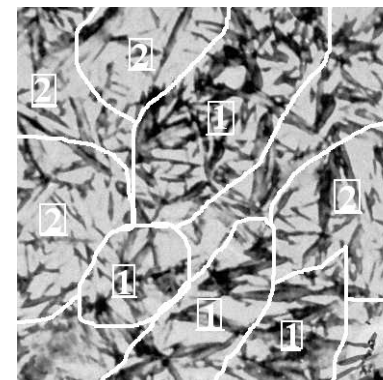


Рис. 1

На квадрат, в котором расположена фигура, площадь которой следует определить, набрасывают случайные точки A_1, A_2, \dots, A_n . Каждая точка характеризуется координатами X и Y , т.е. $A_1 = (x_1, y_1)$, $A_2 = (x_2, y_2), \dots$

Если случайные числа X и Y будут равномерными в интервале $[0,1)$, то и точки A_1, A_2, \dots, A_n равномерно покроют поверхность квадрата.

Пусть N_1 - общее число точек, а N_2 - число точек попавших на фигуру S . Очевидно, что N_1 - пропорционально площади квадрата, а N_2 - пропорционально площади фигуры. Поэтому площадь фигуры можно оценить по формуле:

$$S = S_1 \frac{N_2}{N_1}, \quad (4)$$

где S_1 - площадь квадрата.

Имитировать последовательность случайных точек выбрасываемых на квадрат предлагается, используя тот или иной генератор случайных чисел (ГСЧ).

До настоящего времени существовало три основных метода получения случайных чисел:

- физический метод, который используется при составлении таблиц случайных чисел;
- физико-технический метод, характеризующийся применением дополнительного оборудования;

-программный метод, с помощью которого получают последовательности псевдослучайных чисел на основе рекуррентных соотношений. В нашем случае последовательность случайных чисел генерировалась с использованием, специально для этих целей разработанной программы представляющей своеобразный ГСЧ [9,10].

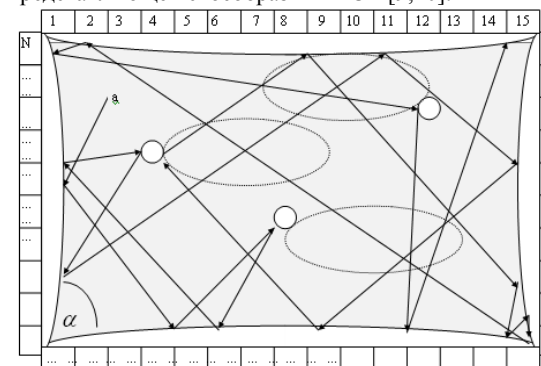


Рис. 2

Идея этого (ГСЧ) заключается в том, что среди известных численно неприводимых задач, наиболее изученной, является так называемая бильярдная задача, основанная на том, что согласно как теоретическим, так и экспериментальным исследованиям она подтверждает один из основных результатов численно неприводимых задач: траектория движения отражающегося шара, после третьего его соударения, непредсказуема. Поэтому траектория движения отражающегося шара (движение которого имитируется лучом) являясь функцией неизвестных факторов, может в свою очередь, при определенных технических условиях продуцировать последовательность случайных чисел.

Для этого борта бильярда разбиваются на определенное количество ячеек, каждой из которых присваивается определенное число в стого заданной последовательности чисел. Согласно выше изложенному, отражающийся шар, двигаясь по непредсказуемой траектории, «выбивает» из ячеек числа, последовательность которых является псевдослучайной [11]. При этом, для придания большей «хаотичности», в условия опыта была включена возможность задания деформации бортов бильярда (так называемый китайский бильярд), путем перманентного изменения от шага к шагу их эллипсоидности, и постоянного движения шаров - отражателей по заданной траектории (на рисунке 2 эти траектории указаны пунктиром). В качестве отражающегося шара испускался луч, первоначально с заданным произвольным углом отражения.

Результаты испытаний, позволили вычислять вероятности соответствующие определенным растровым изображениям шлифов и их информационную энтропию, что показано в таблице 1. В итоге мы констатируем тот факт, что для каждого шлифа определенной марки стали,

есть своя информационная энтропия, которая может являться индикатором ее механических свойств.

На основании выше изложенного, можно сделать вывод о том, что идентификация характеристик качества стали возможна не только на основе традиционных методов (микроскопия, рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ и др.) но и путем применения теоретико-информационного подхода [12], что естественным образом должно способствовать созданию базы данных для каждой марки стали.

Использованная литература

1. Большаков В.И., Дубров Ю.И., Буньковская Т.В. «Пути решения численно неприводимых задач в материаловедении» - Моделирование и оптимизация в материаловедении МОК-42, Одесса «Астропринт», 2003, 220 с., с. 151...152.
2. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 288 с.
3. В.И. Большаков, Ю.И. Дубров, А.Н. Ткаченко, В.А. Ткаченко Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем. 2006 - К. – Доповіді НАН України, № 4, с 97-102
4. Шеннон К. Математическая теория связи, в книге: "Работы по теории информации и кибернетике" .М.: ИЛ, 1963
5. Волькенштейн М.В. Молекулы и жизнь. Введение в молекулярную биофизику. - М. Прогресс, 1965.
6. Дубров Ю.И. Оценка эффективности оросителей на основе информационной энтропии. Теоретические основы химической технологии. АН СССР - 1981.
7. Бусленко Н.П. Методы статистических испытаний (Метод Монте-Карло) М.: Физматгиз, 1962.
8. Журбенко И.Г. Определение критической длины последовательности случайных чисел. - В кн. Вероятностно - статистические методы исследования М.: МГУ, 1983.
9. Синай Я.Г. Динамические системы с упругими отражениями. Успехи математических наук, 25,в.2 (1970).
10. Дубров Ю.И. Исследования имитационной модели «бильярдной задачи», а также ее применение в практике преподавания синергетики. Материалы Международной научной конференции «Математика Компьютер Образование». Дубна: 1998.
11. Дубров Ю.И., Фролов В.В., Вахнин А.Н. Учет влияние неуправляемых факторов при анализе и синтезе критерия функционирования сложных систем / Экономика и математические методы. – АН СССР, 1986, №1 – С. 165-170.
12. Большаков В.И., Дубров Ю.И., Жевтило Е.Ю. «Исследования работоспособности и эффективности эмпирического прогнозирования качественных характеристик стали на предпроектной стадии ее проектирования» - К. – Доповіді НАН України, № 9, 2009. с. 103 – 106.