

рУДК 528.854:528.71

Н.Ю.Калініна¹, В.В.Гнатушенко²

¹Національна металургійна академія України

²Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ КОЛЬОРОВИХ ПРОЕКЦІЙНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

У роботі запропоновано новий підхід до ідентифікації структурних складових металевих сплавів у рамках оптичного мікроскопічного аналізу. Це дозволило розробити алгоритм автоматизованого аналізу структури і фазового складу сплавів, які отримані фотограмметричними методами у системі оптичної мікроскопії.

Ключові слова: мікроскопічний аналіз, фотограмметричне зображення, кольорова сегментація, структурні складові.

Постановка проблеми. Будь-який метод ідентифікації структури металів та сплавів у системі оптичного мікроскопічного аналізу ґрунтується на деякому поданні зображень. Існують методи зіставлення, що використовують самі пікселі з відповідними їм значеннями інтенсивності, методи, що здійснюють пошук відповідності між точками контурів або крайовими точками, різними структурними або геометричними елементами, а також між мітками, що позначають конкретні фізичні об'єкти [1]. Але всі існуючі системи автоматичного аналізу не вирішують задачу у комплексі, їх головним недоліком є вузька спрямованість і мала гнучкість. Такі системи реалізують лише базові методики, і лише деякі з них повністю автоматизовані.

Аналіз останніх досліджень. Оптичний мікроаналіз досліджує структуру сплаву в окремих ділянках за допомогою мікроскопу (зі збільшенням у 100 та більше разів) з ціллю визначення структури і фазового складу сталей та сплавів, оцінки кількості, розмірів, форми і розподілення різних фаз [2]. Основним об'єктом дослідження металографічного аналізу є зображення шліфа металу. При цьому точність і робастність методу фотограмметричного мікроаналізу прямо залежить від ефективності використаного подання зображення. Такі подання описують як низькорівневі ознаки зображень – значення інтенсивності окремих пікселів, так і високорівневі ознаки – структурні елементи і їх групи. Один з низькорівневих методів автоматичного металографічного мікроаналізу – пошук інваріантних ознак, на базі яких відбувається ідентифікація зображень або структурних складових зображення. При цьому, при введенні в систему автоматичного аналізу зображення мікрошліфу підлягають впливу негативних факторів, які призводять до змазаності, появи малоконтрастних і зашумлених ділянок і інших геометричних та фотометричних викривлень. У роботах [3-4] була розвинена інформаційно-математична модель подання кольорових металографічних зображень у форматі RGB, яка інваріантна стосовно їхніх афінних і фотометричних перетворень. Ця модель визначає моменти кольору M_{pq}^{abc} для інваріантної області Ω наступним чином:

$$M_{pq}^{abc} = \iint_{\Omega} x^p y^q [R(x, y)]^a [G(x, y)]^b [B(x, y)]^c dx dy \quad (1)$$

Інваріантні характеристики зображень у цій математичній моделі визначаються рівнянням афінно-інваріантної квадратики:

$$\mathbf{I} = \left(X_{\frac{N}{2}, \frac{N}{2}} \right)^2 - 2 \sum_{k=0}^{\frac{N}{2}-1} (-1)^k \frac{(N/2)!(N/2)!}{\left(\frac{N}{2}-k-1\right)!\left(\frac{N}{2}+k+1\right)!} X_{\frac{N}{2}, -k-1, \frac{N}{2}, +k+1} X_{\frac{N}{2}, +k+1, \frac{N}{2}, -k-1}, \quad (2)$$

де $|\mathbf{I}|$ — інваріантна ознака, яка визначається еталонним зображенням. За допомогою цієї моделі відбувається ідентифікація зображень мікрошліфів металів та сплавів за їх інваріантними ознаками, які визначені для всього зображення. Крім того, однією з задач металографічного аналізу є виділення об'єктів на зображенні мікрошліфу металу, для яких необхідно підрахувати значення ознак, на основі яких відбувається розуміння зображення, тобто визначення структурних

складових, виділення дефектів і т.п., а також підрахунок різних характеристик зображення (наприклад, відносної долі фази, розміру і кількості включень і т.д.). Розвинена у [3, 4] система інваріантних ознак зображень на основі моделі подання у форматі RGB не вирішує цієї задачі.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). 1. Виявити кольорову модель, що найкращим чином підходить для подання зображень шліфу в автоматизованій системі аналізу і дозволяє із мінімумом перетворень на різних етапах аналізу проводити обробку цих зображень. 2. Розробити алгоритми яскравісно-кольорової сегментації зображень шліфу, що дозволяють виділити на цих зображеннях потрібні у конкретній задачі дослідження структурні складові або фази сплаву. 3. Здійснити програмну реалізацію розроблених алгоритмів.

Основна частина. Відбивна здатність – це здатність металу відбивати світлові хвилі певної довжини, які сприймаються оком людини як колір, деякі з цих кольорів зазначені у Таблиці 1.

Таблиця 1

Кольори металів

<i>Метал</i>	<i>Колір</i>	<i>Метал</i>	<i>Колір</i>
Магній	Біло-сірий	Цинк	Блакитно-білий
Алюміній	Сірувато-білий	Срібло	Білий
Титан	Сірувато-білий	Олово	Сірувато-білий
Залізо	Блакитно-білий	Золото	Жовтий
Мідь	Червонувато-рожевий	Свинець	Сірувато-білий

Чисті метали у виробництві і в декоративно-прикладному мистецтві майже не використовуються. Для виготовлення різних виробів використовують сплави, кольорові характеристики яких значно відрізняються від основного металу. На сьогодні металографічний аналіз використовує кольорові зображення мікрошліфів таких сплавів, як сірі чавуни, сталі та мідні сплави [5]. Кристалічні решітки структурних компонентів цих сплавів можуть відбивати світло в оптичному діапазоні із довжиною хвилі від 380 до 740 нм, тобто кольори від червоного до фіолетового. Кожен з кольорів оптичного діапазону має фізичні характеристики, які можна кількісно виміряти, а саме: спектральний состав, яскравість, насиченість і світлота.

Для вирішення задач статті були досліджені існуючі кольорові моделі подання цифрових зображень. Була обрана модель HSV як та, що є найдоцільнішою для задач виділення об'єктів на зображенні мікрошліфу металу. Колір, поданий у цій моделі, отримується нелінійним перетворенням кольору у моделі RGB. Кожна точка кольорового простору моделі RGB має однозначне відображення у просторі HSV і навпаки. HSV (англ. Hue, Saturation, Value — тон, насиченість, значення) або HSB (англ. Hue, Saturation, Brightness — відтінок, насиченість, яскравість) — кольорова модель, у якій координатами кольору є: Hue – кольоровий тон; Saturation – насиченість, чим більший цей параметр, тим «чистіший» колір, тому іноді цей параметр називають чистотою кольору, а чим ближчий цей параметр до 0, тим ближчий колір до нейтрального сірого; Value – значення кольору або Brightness – яскравість.

Розробка і тестування алгоритму кольорової сегментації відбувалось на основі зображень мідних сплавів, отриманих за допомогою оптичного мікроскопу, який укомплектований системами для отримання зображень на провіт і відображення, у світлому і темному полі зору, і підключеною до нього цифровою фотокамерою, яка забезпечує розподільну здатність цифрової фотографії не гірше, ніж розподільна здатність мікроскопу, із спеціальним додатковим окуляром для з'єднання із мікроскопом і макрофотографування [5].

Вихідне зображення є двовимірним сигналом, контури на зображеннях – одновимірним сигналом, а найнижче по рівню абстракції піксельне подання зображень є безрозмірним (або,

умовно, із розмірністю, що дорівнює нулеві). Методи отримання таких подань можуть бути різними. В якості основи структурних подань зображень можуть бути використані кольорові сегменти на зображенні, що будуються в рамках ознакового підходу [6].

Позначимо через b_1, b_2, \dots, b_L – ознаки кольорових сегментів, де L – кількість класів кольорових сегментів зображення, що розпізнається. Встановимо, що ознаки для кожного класу визначає вектор математичного очікування образів із цього класу:

$$b_i = \frac{1}{L_i} \sum_{s \in \Omega} s_j, \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

де n – кількість пікселів, що належать i -му кольоровому сегменту, на площі зображення Ω .

Форма гістограми розподілення кольорів надає багато інформації про об'єкт. Для того, щоб охарактеризувати гістограму розподілення введемо наступні параметри:

Розподілення виборідностей значень параметра Hue кольорової моделі HSV першого порядку:

$$P(b) = \frac{n(b)}{N}, \quad (4)$$

де $n(b)$ – кількість точок, які попали у сегмент b , $0 \leq b \leq m$, N – повна кількість точок об'єкту.

Середнє значення:

$$\bar{b} = \sum_{b=0}^{L-1} bP(b). \quad (5)$$

На основі параметрів $P(b)$ і \bar{b} було визначено, що при вирішенні задачі ідентифікації мідних сплавів необхідна і достатня кількість рівнів сегментації за кольором у просторі HSV дорівнює $L = 12$ по компоненті Hue (кольоровий тон). При цьому, результатами досліджень вочевидь, що найбільша частина інформації про колір зображення мікрошліфу мідних сплавів міститься у таких колірних сегментах: 1, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 12. Результат розподілення кольорів по цим сегментам на зображенні для виділення його структурних компонент приведений у таблиці 2.

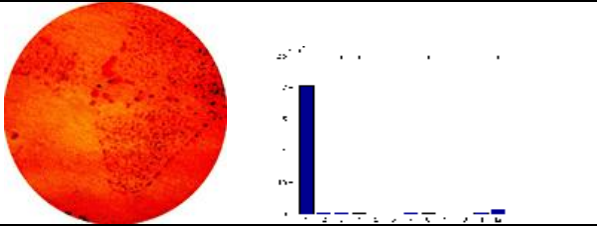
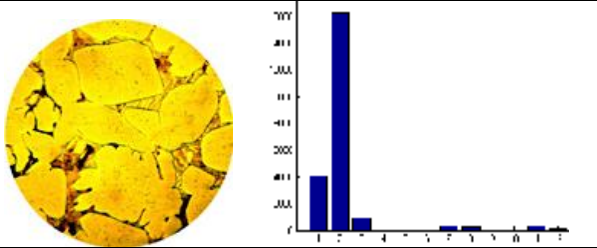
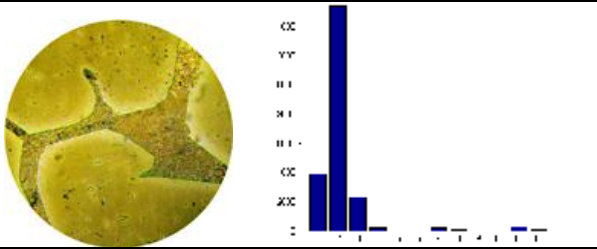
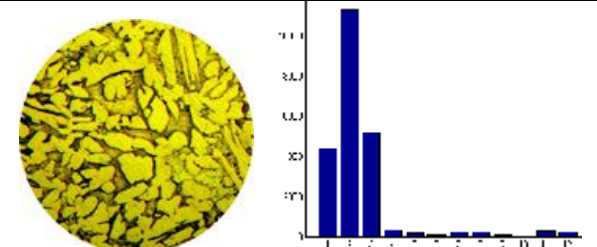
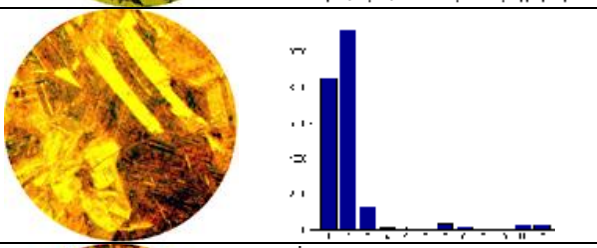
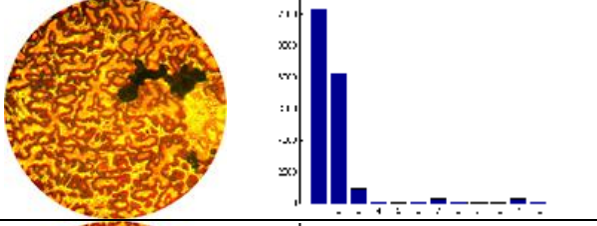
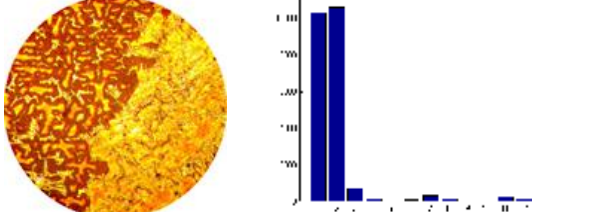
Таблиця 2

Значення компоненти Hue у найбільш інформативних кольорових сегментах і кольори, які відповідають цим значенням

	1	2	3	4	7	8	11	12
Hue (0..360)	0 .. 30	30 .. 60	60 .. 90	90 .. 120	180 .. 210	210 .. 240	300 .. 330	330 .. 360
Колір	Червоний	Жовтогарячий	Жовтий	Зелений	Блакитний	Синій	Фіолетовий	Червоний

У таблиці 3 показано розподілення пікселів зображення по усіх 12-и кольорових сегментах для різних мідних сплавів.

Кольорові зображення мідних сплавів та гістограма розподілення пікселів зображення за 12-ма кольоровими групами

Мікрошліф, гістограма розподілення кольорів по 12 рівням у моделі HSV	Опис мідного сплаву
	<p>Марка: М1. Основа: Cu. Компоненти: O (0.1 маси%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 0.68 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 0.27</p>
	<p>Марка: BrA14. Основа: Cu Компоненти: Al (14 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 2.5 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 1.3</p>
	<p>Марка: BrA14. Основа: Cu Компоненти: Al (14 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 0.63 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 0.33</p>
	<p>Марка: BrAJM10-3-1.5. Основа: Cu Компоненти: Al (10 мас%), Fe (3 мас%), Mn (1.5 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 0.63 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 0.33</p>
	<p>Марка: BrB2. Основа: Cu Компоненти: Be (2 мас%), Ni (0.5 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 2.5 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 1.3</p>
	<p>Марка: BrO10. Основа: Cu Компоненти: Sn (10 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 0.63 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 0.33</p>
	<p>Марка: BrO10. Основа: Cu Компоненти: Sn (10 мас%) Межа роздільної здатності мікроскопа, мкм: 0.63 Межа роздільної здатності фотографії, мкм: 0.33</p>

Нажаль, у більшості випадків структурні подання, що залучаються, не повністю інваріантні по відношенню до умов формування зображень. У зв'язку із цим, на зображеннях, отриманих в різних умовах, структурні елементи виділяються по різному, що зменшує вірогідність коректного співставлення і знижує його точність. Тим не менш, структурні методи прийнято вважати одними із найбільш робастних [6]. Тому, виходячи із розробленого методу сегментації за кольором на базі математичної моделі ідентифікації цифрових фотограмметричних зображень і знайдених у її рамках афінно- і фотометрично-інваріантних багатовидів на основі семіінваріантних характеристик кольорових зображень [4] було розроблено комп'ютерну технологію структурного аналізу, що використовує систему інваріантних ознак по колірних сегментах зображень для більш точної ідентифікації і визначення структури мідних сплавів за їх кольоровими зображеннями. На основі зазначеної технології планується розробити автоматизовану систему ідентифікації кольорових зображень мікрошліфів мідних сплавів.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Подання зображень мікрошліфів металів у просторі HSV має ряд переваг:

- Зручно і швидко виконується кольорова сегментація пікселів зображення із мінімумом перетворень на різних етапах аналізу.

- При введенні в систему автоматичного аналізу цифрових кольорових зображень мікроструктур, зображення мікрошліфу підлягають впливу негативних факторів, які призводять до змазаності, появи малокоонтрастних і зашумлених ділянок. Розроблений нами алгоритм яскравісно-кольорової сегментації зображень шліфу дозволяє виділити на цих зображеннях потрібні у даній задачі дослідження структурні складові або фази із великою точністю.

Оскільки більшість кольорів, які відбиває кристалічна решітка мідних сплавів, належить червоно-жовтій групі, то пошук інваріантних характеристик зображень мікрошліфів мідних сплавів доцільно проводити лише по найбільш інформативним колірним сегментам, якими є 1, 2, 3, 4, 7, 8, 11, 12 сегменти.

Наші подальші дослідження будуть присвячені наступним питанням:

- Дослідженню і адаптації розробленого методу кольорової сегментації кольорових зображень металів та сплавів для таких сплавів, як сталі і чавуни, які теж подаються у кольорі.

- Пошуку набору ознак, що буде необхідним та достатнім для автоматичного порівняння досліджуваних зображень шліфів із базою еталонних структур для автоматизованої ідентифікації мікроструктури металу за його кольоровим зображенням.

1. Чубов А. А. Автоматизация металлографического анализа и контроля сплавов с использованием методов цифровой обработки оптических изображений микроструктур: Дис. канд. техн. наук: 05.13.06; - Защищена 09.12.2005; Утв.09.03.2006. - М., 2007. –359 с.: ил.-Библиогр.: с. 14-33, 49-55.
2. Перфильев Д. А. Описание структуры и алгоритм анализа микроструктурных металлографических изображений деформируемых алюминиевых сплавов: Дис. канд. техн. наук: 05.13.17; - Защищена 09.12.2005; Утв.09.03.2006. - Красноярск, 2007. – 124 с.: ил.-Библиогр.: с.5-48.
3. Калініна Н. Ю. Ідентифікація мікроструктури металів і сплавів за допомогою інваріантних ознак їх RGB-зображень / Н. Ю. Калініна // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2 (73). – Дніпропетровськ, 2011. – С. 78-85.
4. Калініна Н. Ю. Система інваріантних ознак просторових форм кольорових зображень / Н. Ю. Калініна // Праці Таврійського держ. агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2011. –Вип. 4, т.50. – С.199-204.
5. База данных микроструктур металлов и сплавов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.microstructure.ru>.
6. Математические методы и алгоритмическое обеспечение анализа и распознавания изображений в информационно-телекоммуникационных системах: (Монография) / Васильев В.Н., Гуров И.П., Потапов А.С.; СПбГУ ИТМО, С-П.; 2008. – 46 с. – Библиогр.: — с.22.