



УДК 378.1:615.471

Поступила 24.06.2014

А. А. АНДРУШЕВИЧ, Н. К. ТОЛОЧКО, П. С. ЧУГАЕВ, УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

КОМПЬЮТЕРНАЯ МИКРОСКОПИЯ МАТЕРИАЛОВ В ИННОВАЦИОННОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ

Рассмотрены функциональные возможности компьютерных микроскопов. Обсуждены перспективы применения компьютерной микроскопии в научно-инновационной и учебной деятельности технических вузов.

Functional abilities of computer microscopes are considered. Prospects of application of computer microscopy in scientific and innovative and educational activity of technical colleges are discussed.

Введение

Компьютерная микроскопия широко применяется в различных отраслях науки, техники и производства, в медицине, охране окружающей среды. В последние годы она все сильнее внедряется в сферу высшего образования. На сегодняшний день компьютерная микроскопия получила распространение в основном в вузах, осуществляющих научную и учебную деятельность в области материаловедения и технологии материалов, а также в естественной сфере. Основные направления применения компьютерной микроскопии в инновационной и учебной деятельности технических вузов в значительной мере определяются тематикой выполняемых научных исследований и профилем подготовки специалистов. В данной статье рассмотрены перспективы применения компьютерной микроскопии в инновационной и учебной деятельности технических университетов с учетом специфики этой деятельности и функциональных возможностей компьютерных микроскопов.

Компьютерная микроскопия представляет собой новое направление в информационно-измерительной технике, интенсивно развивающееся с конца 90-х годов XX века [1]. Ее появление связано с широким распространением информационных технологий, в результате чего потребовалась разработка усовершенствованных подходов к организации микроскопических исследований. Это обусловлено необходимостью осуществления количественной и статистической обработки получаемой информации.

Функциональные возможности компьютерных микроскопов

Компьютерные микроскопы (называемые также цифровыми микроскопами, видеомикроскопами, автоматизированными анализаторами изображения) представляют собой аппаратно-программные комплексы, обычно создаваемые на основе серийно выпускаемых оптических микроскопов, в которые встраиваются цифровые видеокамеры, связанные с персональными компьютерами [1]. Микроскоп обеспечивает выбор поля наблюдения и формирует изображение в видеокамере, которая передает его в виде цифрового или телевизионного сигнала в компьютер, где оно визуализируется на дисплее и подвергается программной обработке.

Компьютерные микроскопы обладают широким спектром функциональных возможностей (табл. 1). Они позволяют получать, обрабатывать и хранить информацию о разнообразных видах изучаемых объектов, а также обеспечивают наглядное представление этой информации. С их помощью можно получать (снимать) изображения как статичных, так динамичных объектов (соответственно не изменяющих или изменяющих во времени свое положение и/или состояние).

Функциональные возможности компьютерных микроскопов в значительной мере определяются типом базового оптического микроскопа, его конструкцией, техническими характеристиками, принципом работы (в отраженном или проходящем, обычном или поляризованном, видимом, ультрафиолетовом или инфракрасном свете). Компью-

Т а б л и ц а 1. Основные функции компьютерных микроскопов

| | |
|---|--|
| Получение изображений | Представление изображений объектов на дисплее компьютера в режиме реального времени (использование дисплея в качестве видеоскалера перед съемкой изображения) |
| | Съемка изображений статичных или динамичных объектов (получение одиночных видеок кадров) |
| | Непрерывная съемка изображений динамичных объектов (получение видеофильмов) |
| | Покадровая съемка изображений динамичных объектов (получение серии видеок кадров) с регулируемой частотой захвата |
| Обработка изображений | Сохранение изображений (вместе с сопровождающей текстовой информацией) в базе данных компьютера |
| | Извлечение изображений (вместе с сопровождающей текстовой информацией) из базы данных компьютера и его вывод на дисплей; просмотр изображений на дисплее, в том числе просмотр одиночных видеок кадров; полный и покадровый просмотр видеофильмов (в прямом и обратном направлении); передача изображений в другие компьютеры; их представление на большом экране с помощью мультимедиа-проектора, распечатка на принтере |
| | Монтаж видеофильма с «ускоренным сюжетом» на основе изображений динамичных объектов, полученных покадровой съемкой |
| | Сшивка ряда изображений, снятых в различных полях наблюдения, в одно изображение высокого разрешения |
| | Сравнение разных изображений или разных фрагментов одного изображения по характерным признакам объектов* |
| | Захват части изображения: выделение части изображения, подлежащей анализу, ограничительной рамкой и удаление оставшейся за рамкой части изображения закрашиванием |
| | Преобразование изображений: изменение размера, яркости, контрастности, цвета; выравнивание фона; геометрические преобразования (поворот, обрезка, изменение размеров и масштаба, зеркальное отображение); морфологические преобразования (эрозия, дилатация, открытие, закрытие и т. д.) |
| | Редактирование изображений: рисование, заливка разными цветами или шаблонами отдельных фрагментов изображения, нанесение текста, стрелок, геометрических фигур и т. д. Выделение объектов: выявление объектов, подлежащих анализу, по их характерным признакам* и последующее выделение выявленных объектов путем маркирования, классификации (удаления остальных объектов закрашиванием), сегментации (отделения от остальных объектов разграничительными линиями или локальным изменением фона), бинаризации (создания высококонтрастного черно-белого изображения) |
| Измерение параметров объектов и обработка результатов измерений | Измерение геометрических параметров объектов: размера, периметра, площади; определение фактора формы объекта |
| | Измерение параметров расположения объектов: расстояния между двумя объектами, угла ориентации объектов относительно заданного направления в поле наблюдения или угла взаимной ориентации объектов, в том числе оценка параллельности или перпендикулярности |
| | Измерение количества объектов, определение численной концентрации объектов (в том числе объектов определенного типа) |
| | Измерение суммарной площади объектов, определение относительной объемной концентрации объектов (в том числе объектов определенного типа) |
| | Выполнение измерений определенных видов: повторяемых, осуществляемых в определенной последовательности или в пределах определенных значений параметров |
| | Статистическая обработка данных: определение средних, максимальных и минимальных значений, построение гистограмм и графиков функций распределения |

* Характерные признаки объектов на изображениях: размер, форма, яркость, цвет, текстура, расположение и т. д.

терные микроскопы могут оснащаться дополнительными конструктивными элементами, повышающими степень их автоматизации, улучшающими условия обслуживания и качество выполняемых работ, такими, как моторизованные драйверы фокусировки, предметные столы, узлы смены объективов и фильтров, транспортеры доставки предметных стекол на предметный стол, электронные блоки идентификации стекла по штрих-коду, управления освещением и др. [2]. Решающая роль в определении функциональных возможностей компью-

терных микроскопов отводится используемым программным средствам.

Производство компьютерных микроскопов освоено в ряде стран мира, в том числе в странах СНГ. Их выпуском занимаются фирмы, специализирующиеся в области оптического приборостроения. Большинство этих фирм создают компьютерные микроскопы путем дооснащения оптических микроскопов видеокамерами, а также другими конструктивными элементами. Исключением являются фирмы, в частности, NIKON (Япония) и LEICA



Рис. 1. Компьютерный микроскоп на базе микроскопа МИМ-8

(Германия), которые выпускают специальные модели компьютерных микроскопов без визуального канала. В Беларуси производителями таких приборов являются ГНПО «Планар», (г. Минск) и ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс» (г. Витебск).

Особенности конструкции и принцип действия компьютерных микроскопов можно пояснить на примере двух типов таких приборов (производитель – ЧНПУП «Спектравтоматкомплекс»), которые успешно применяются в научной и учебной деятельности кафедры «Технология металлов» Белорусского государственного аграрного технического университета (БГАТУ).

Компьютерный микроскоп первого типа изготовлен на базе металлографического микроскопа МИМ-8 (предназначен для исследования объектов в отраженном свете), второго типа – на базе микроскопа Микмед-6 (предназначен для исследования объектов в проходящем свете). Оба базовых микроскопа дооснащены цифровыми видеокамерами (типа DCM 310 или DCM 320), работающими совместно с персональными компьютерами. Кроме того, они оборудованы спектральными осветителями высокого контраста типа ОС-16 ЦОМ с устройством управления режимами осветителя. Осветители позволяют подсвечивать объекты в видимом спектре, обеспечивая высокую равномерность (6 %) поля подсветки. Конструкция осветителей (освещение микрообъекта) исключает посторонние засветки (блики), что значительно улучшает качество воспроизводимого изображения. Компьютерные микроскопы обоих типов имеют высокую разрешающую способность и контрастную чувствительность, а именно: позволяют наблюдать слабо контрастные микрообъекты на дисплее с увеличением до 3000 раз (разрешение не менее 300 нм) и кон-

трастом воспроизводимого изображения не менее 80:1.

Компьютерный микроскоп первого типа (рис. 1) применяется для количественного анализа микроструктур металлов и сплавов в рамках выполнения научных исследований, а также при проведении лабораторных занятий по материаловедению, на которых студенты изучают микроизображения структур, получаемые на дисплее или демонстрируемые на большом экране с помощью мультимедиа-проектора.

Для определения объемного содержания структурных составляющих (элементов или частиц) следует обеспечить их высококонтрастное выделение на микроизображении, для чего микроизображение делается бинарным (черно-белым). Затем автоматически вычисляется относительная площадь структурных элементов в выбранном поле наблюдения (рис. 2). Таким же способом можно определять пористость твердофазных материалов, содер-

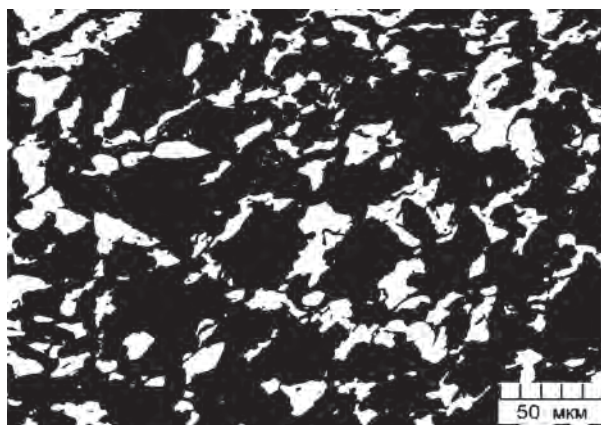


Рис. 2. Микроструктура углеродистой доэвтектоидной стали (бинарное изображение). Светлые участки – феррит, темные – перлит

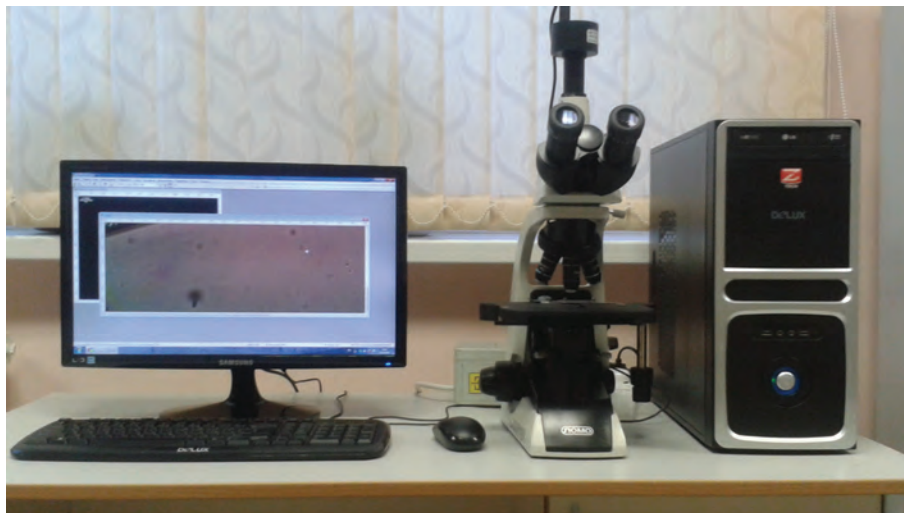


Рис. 3. Компьютерный микроскоп на базе микроскопа Микмед-6

жание в них включений или структурных фаз, а в случае суспензий – содержание дисперсной фазы.

Компьютерный микроскоп второго типа (рис. 3) служит для количественного анализа дисперсных материалов. Примерами таких материалов, представляющих собой объекты инновационных исследований, в том числе проводимых в рамках выполнения дипломных проектов и магистерских диссертаций, являются порошки для магнитно-абразивной обработки металлических деталей, суспензии-электролиты для нанесения композиционных упрочняющих покрытий, отработанные смазочные масла и т. п.

Измерения структурных параметров осуществляются в основном на копиях микроизображений, предварительно сохраненных в базе данных компьютерных микроскопов. Для определения размеров отдельных структурных элементов (частиц) или расстояний между ними на микроизображения наносится измерительные линии, которые пересе-

кают эти элементы в выбранных направлениях или соединяют их между собой. При этом автоматически фиксируются значения измеряемых размеров или расстояний, а также значения измеряемых площадей. Для измерения площади отдельных структурных элементов (частиц) на микроизображения наносятся измерительные контуры этих элементов. На рис. 4 в качестве примера показано микроизображение агрегатов углеродных наночастиц (дисперсная фаза суспензии) с нанесенными измерительными линиями и контуром.

Компьютерная микроскопия в инновационной деятельности технических вузов

Основные области применения компьютерной микроскопии в инновационной деятельности технических университетов связаны с тематическими направлениями проводимых в них научных исследований.

Следует особо отметить перспективы использования компьютерной микроскопии, обусловленные ее возможностью наблюдать поведение различных объектов на дисплее в реальном времени (проводить исследование *in situ*), а также осуществлять их последующее рассмотрение при работе в режиме «стоп-кадр». С помощью компьютерного микроскопа можно, например, исследовать механизм структурообразования железоуглеродистых сплавов [3], развития трещин в металлоконструкциях под действием механических нагрузок [4, 5], микроструктуры конструкционных сталей для рабочих органов сельскохозяйственной техники после термической упрочняющей обработки [6]. Методы компьютерной автоматизации обработки изображений микроструктур сталей предложены группой исследователей в БНТУ [7].

В БГАТУ количественное исследование микроструктуры конструкционных материалов (опреде-

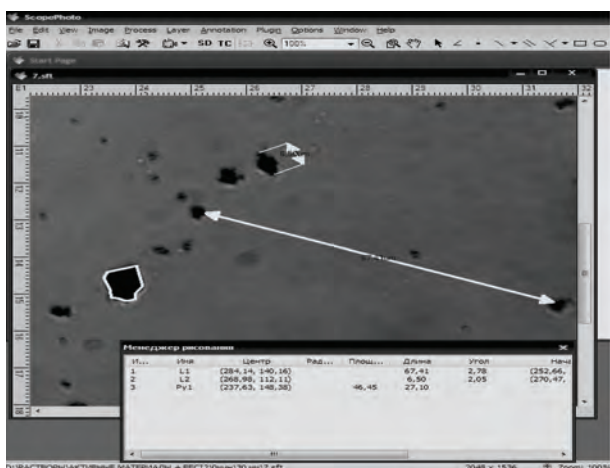
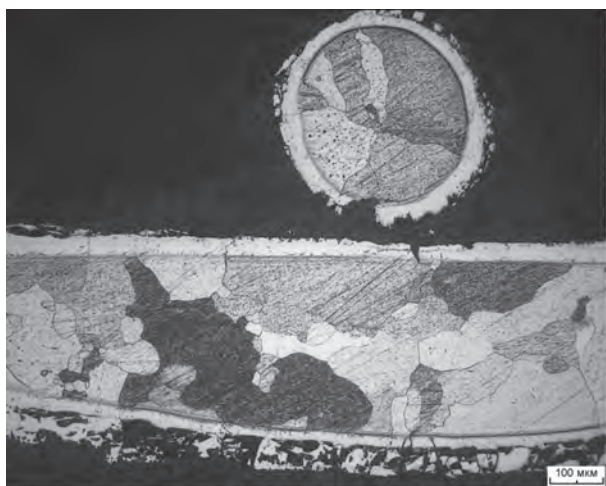


Рис. 4. Микроизображение агрегатов углеродных наночастиц с нанесенными измерительными линиями и измерительным контуром

ление размера кристаллических зерен, толщины упрочненных слоев, размера и относительного содержания пор, включений, структурных составляющих) направлено на модернизацию и совершенствование производства и ремонта автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин. Так, при изучении микроструктуры алитированного жаростойкого сетчатого материала на поперечных шлифах стальных образцов марки 08 с помощью программы ScopePhoto на модернизированном микроскопе МИМ-8 определяли изменение толщины покрытия в процессе термических испытаний. Сетчатый материал предназначен для изготовления искрогасителей сельскохозяйственной техники. На рис. 5, а представлен поперечный шлиф стального образца в исходном состоянии. В результате испытаний при нагреве с течением времени происходит уменьшение толщины алитированного слоя (рис. 5, б). Результаты количественных измерений параметров сетки приведены в табл. 2.



а



б

Рис. 5. Поперечные шлифы алитированных стальных образцов: а – в исходном состоянии; б – через 20 ч испытаний при 500 °С

Повышение срока эксплуатации искрогасителей при высоких температурах (500 °С) можно достичь только при наличии алитированного слоя оптимальной величины на поверхности сетчатого материала (табл.2).

Т а б л и ц а 2. Параметры алитированного слоя на образцах сетки из стали 08 в процессе испытаний

| Температура, °С | Время термического воздействия, ч | Толщина алитированного слоя, мкм |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Исходный | | 40 |
| 200 | 6 | 40 |
| 200 | 20 | 35 |
| 500 | 6 | 30 |
| 500 | 20 | 30 |

Компьютерная микроскопия в учебной деятельности технических университетов

На сегодняшний день компьютерная микроскопия получила довольно широкое распространение в учебной деятельности вузов, связанной в основном с подготовкой специалистов в области материаловедения и технологических процессов получения и обработки различных видов материалов.

Компьютерная микроскопия также получает развитие в учебной деятельности технических вузов, связанной с подготовкой специалистов в области металловедения и технологии металлов. С использованием компьютерной металлографии в Московском институте стали и сплавов и Белорусском национальном техническом университете проводятся лабораторные занятия по изучению микроструктуры металлов и сплавов.

Подобная практика успешно распространяется и в Белорусском государственном аграрно-техническом университете, занимающимся обучением студентов специальностям, относящимся к области производства и ремонта автотракторной и сельскохозяйственной техники.

При внедрении компьютерной микроскопии в учебную деятельность вузов следует учитывать характерные признаки студенческой аудитории [1]. С одной стороны, студентам свойственна восприимчивость к новому, они обладают общей компьютерной грамотностью, проявляют интерес к компьютерным технологиям, с другой – у них нет опыта практической работы по узкоспециализированным направлениям и, как следствие, они имеют слабое представление о возможностях использования компьютерных микроскопов при решении конкретных прикладных задач. Поэтому студентов следует первоначально обучить методам работы с компьютерными микроскопами, а затем ознакомить с основными возможностями компьютерной

микроскопии в процессе изучения определенных учебных дисциплин.

Компьютерные микроскопы наиболее эффективно использовать при проведении лабораторных занятий, в ходе которых можно демонстрировать микроизображения, формируемые непосредственно в микроскопе в режиме реального времени (с использованием специально приготовленных для анализа микрошлифов металлов и т. п.), либо микроизображения, хранящиеся в базе данных компьютера или на электронных носителях информации. Кроме того, компьютерные микроскопы весьма удобно применять на лекциях – с учетом возможности вывода микроизображений на большой экран с помощью мультимедиа-проектора.

Несколько другой должна быть методика внедрения компьютерной микроскопии в учебную деятельность вузов, связанную с повышением квалификации дипломированных специалистов. Здесь следует учитывать, что для таких слушателей представляет особый интерес не общее ознакомление с возможностями компьютерных микроскопов, а изучение перспектив их использования в конкретных направлениях, непосредственно связанных с их производственной деятельностью.

Тем не менее, компьютерная микроскопия не получила должного распространения в учебной деятельности большинства университетов РБ. Поэтому повышенного внимания заслуживает опыт работы тех, где компьютерные микроскопы заняли достойное место в учебном процессе. К таким ву-

зам относятся Белорусский национальный технический университет (кафедра «Материаловедение в машиностроении»), а также Белорусский государственный аграрный технический университет (кафедра «Технология металлов»), Белорусский государственный технологический университет (кафедра «Материаловедение и технология металлов») и др., в которых компьютерная микроскопия уже используется при преподавании соответствующих учебных дисциплин.

Выводы

Компьютерные микроскопы обладают большим спектром функциональных возможностей, что открывает широкие перспективы их использования в научной и учебной деятельности различных вузов. Они относятся к тем видам оборудования, оснащение которыми вузов позволяет сформировать материально-техническую базу, необходимую для обеспечения тесной взаимосвязи учебного и научного процессов, что является одним из важнейших условий успешного развития высшей школы на современном этапе научно-технического прогресса.

Применение компьютерной микроскопии является особенно перспективным в технических университетах, что обусловлено возможностью эффективного использования компьютерных микроскопов при проведении инновационных исследований и подготовке специалистов для самых различных отраслей непрерывно развивающегося промышленного комплекса страны.

Литература

1. Пантелеев В. Г. Компьютерная микроскопия / В. Г. Пантелеев, О. В. Егорова, Е. И. Клыкова. М.: Техносфера, 2005.
2. Медовый В. С. Состав оборудования и системная платформа комплексов автоматизированной микроскопии / В. С. Медовый, А. А. Парпара, Б. З. Соколинский, В. Л. Демьянов // Медицинская техника. 2007. № 2. С. 29–36.
3. Гарост А. И. Механизм структурообразования в экономнолегированных износостойких чугунах // Литье и металлургия. 2012. № 3. С. 101–113.
4. Сакара А. А. Методика построения кинетических диаграмм усталостного разрушения сталей крановых конструкций в коррозионных средах / А. А. Сакара // Вест. Одесс. нац. морского ун-та. 2008. № 25. С. 124–133.
5. Пустовойт В. Н. Кинетика и механизм роста трещин в стали со структурой ферритно-мартенситного композита / В. Н. Пустовойт, С. А. Гришин, М. В. Зайцев // Вест. ДГТУ. 2011. Т. 11. № 6(57). С. 857–861.
6. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И. Н. Шило [и др.]. Минск: БГАТУ, 2010.
7. Чичко А. И. Методы автоматизации обработки изображений микроструктур перлитных сталей / А. И. Чичко, О. А. Сачек, С. Г. Лихоузов // Информационные технологии. 2010. № 7. С. 71–77.