

ЛАЗЕРНО-ИСКРОВАЯ ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ – СОВРЕМЕННЫЙ ЭКСПРЕССНЫЙ МЕТОД ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ

Лабутин Т.А., Попов А.М., Зоров Н.Б.

Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, кафедра лазерной химии

Существующие физические методы неразрушающего контроля (эхо-методы, акусто-эмиссионные методы, магнитная и рентгеновская дефектоскопия и др.) основаны на выявлении изменений структуры материала, неоднородностей или физических свойств в объеме детали. Однако, как было показано в работах акад. Фридляндера И.Н. с сотр., химический состав материала изменяется перед появлением дефекта. Поэтому для обнаружения дефектов на ранней стадии необходимо контролировать и химический состав материала критических узлов техники. Кроме этого, разрабатываемые системы контроля должны: обеспечивать высокую скорость измерений; предоставлять комплексную информацию о свойствах материала изделия и его химическом составе; обеспечивать проведение диагностики отдельных узлов без демонтажа и дополнительного воздействия на них; иметь универсальный характер применения; малые габариты и массу. Таким требованиям отвечают портативные системы на основе лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (ЛИЭС).

Перспективность ЛИЭС как полевого метода анализа обусловлена простотой, миниатюрностью и надежностью измерительной системы. На рис.1 представлена типичная схема ЛИЭС-системы: мощное излучение лазера после фокусировки падает на поверхность образца, что приводит к образованию микроплазмы; излучение светящейся лазерной плазмы попадает в спектральный прибор и регистрируется в виде эмиссионного спектра; обработка спектра дает информацию об элементном и молекулярном составе материала. При этом вакуумизация или дополнительная обработка материала (нагрев, нагрузка и т.д.) не требуются, что позволяет разрабатывать переносные датчики.

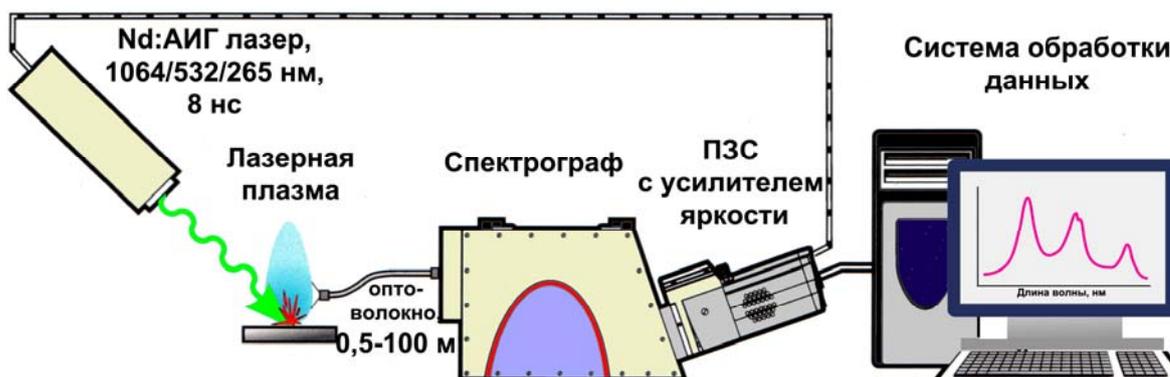


Рис.1 ЛИЭС-спектрометр

Преимущества и возможности ЛИЭС-спектрометра:

- малое количество анализируемого материала (за один импульс испаряется 100 пг - 5 нг).
- отсутствие пробоподготовки или минимальная пробоподготовка.
- высокая экспрессность (до 100 измерений в секунду) и надежность ЛИЭС-системы.
- анализ веществ в любых агрегатных состояниях: можно анализировать газы, жидкости и твердые вещества, как проводники, так и диэлектрики.

- многоэлементный эмиссионный анализ: можно проводить определение как легких элементов (например, литий, бериллий, водород), так и тяжелых элементов (например, уран). За одно аналитическое измерение можно определить от 5 до 25 компонентов.
- возможность фокусировки лазерного излучения позволяет проводить локальный и послойный анализ различных композиционных материалов и покрытий. Доступное разрешение по глубине составляет 5-10 нм за один импульс. На Рис. 2 представлена трехмерная интерферограмма кратера после абляции алюминия десятью последовательными импульсами.

В рамках исследований, выполненных на Химическом факультете МГУ, было показано, что параметры лазерной плазмы зависят от физико-химических свойств анализируемых сплавов. Эти исследования открывают возможность определения механических и химических свойств конструкционных авиационных материалов по спектру одного лазерного импульса.

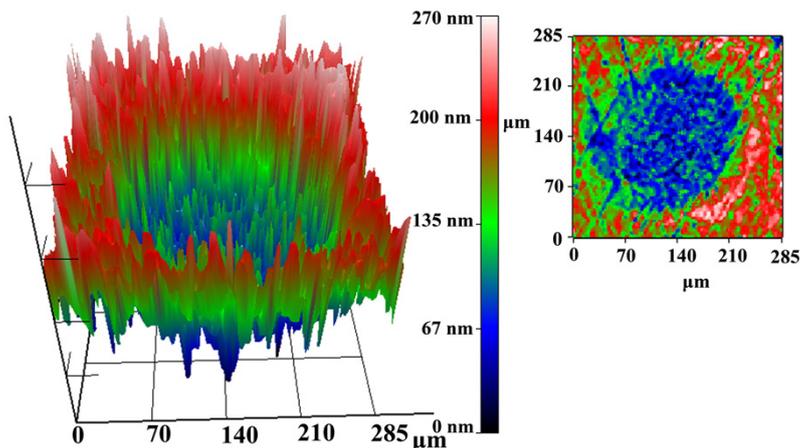


Рис.2 3D профилограмма лазерного кратера после абляции алюминия. Глубины представлены на цветной шкале. На вставке представлена двумерная карта распределения глубин.

Прямое определение молекулярного состава материала, очевидно, невозможно в условиях высокотемпературной лазерной плазмы. Поэтому существующие ЛИЭС-детекторы сопоставляют полученный спектр с имеющимся набором спектральных «отпечатков» этих веществ, т.е. набором молекулярных полос и атомных линий. Кроме того, было показано, что кинетика плазмы, т.е. скорость затухания молекулярных полос и атомных линий, сильно зависит от молекулярного состава вещества. Этот подход интересен и тем, что позволяет классифицировать даже близкие по составу органические вещества, такие например, как гексоген и октоген. Систематизация кинетических характеристик эволюции лазерной плазмы и спектральных характеристик основных видов опасных органических веществ в виде единой базы данных позволит использовать ЛИЭС для дистанционной идентификации этих соединений. Предложенный метод сжатия лазерной плазмы позволил снизить предел обнаружения ряда неорганических токсикантов (As, Pb, Hg и др.) в 5 раз и определять их на уровне меньше ПДК.

В процессе реализации проекта предполагается создать прототип системы, позволяющей проводить одновременный экспрессный контроль физико-химических свойств и состава материалов с помощью спектральных характеристик лазерной плазмы; создать систему выявления и классификации опасных органических и неорганических веществ на поверхности.