

Е.С. Воропай, Ф.А. Ермалицкий, Н.М. Ксенофонтова

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

ДВУХИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ АТОМНО-ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ДИСПЕРСИОННО-ТВЕРДЕЮЩИХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СПЛАВОВ

Дисперсионно-твердеющие сплавы на основе меди и алюминия являются одним из наиболее распространенных конструкционных материалов в промышленности. Так, дуралюмин широко используется в автомобилестроении и авиации, бериллиевые бронзы применяются в средствах связи и коммуникации, компьютерах и компьютерной технике, электронике для автомобильной промышленности, деталях оборудования и, особенно, в нефтегазовой промышленности, электрооборудовании и приборостроении, аэрокосмической и оборонной отраслях. Оловянистые бронзы служат материалом при изготовлении прутков, проволоки, листов, лент, штампованно-пружинных деталей, электрорадиотелефонной аппаратуры; специальные латуни – при изготовлении гаек, болтов, зубчатых колес, втулок, толстостенных патрубков, деталей машин.

В процессе эксплуатации изделий из дисперсионно твердеющих сплавов (растворимость легирующих компонентов зависит от температуры), в условиях повышенных температур, трения, влияния агрессивных сред происходит нежелательное перераспределение примесей в поверхностных слоях деталей, приводящее к локальному изменению структуры и свойств. В связи с этим, важной задачей является мониторинг элементного состава поверхностных слоев толщиной до 100 мкм технически важных конструкционных сплавов. Стандартные методы количественного анализа, применяемые в промышленности, включают в себя длительные процессы пробоподготовки, а также в большинстве случаев не позволяют проводить одновременно поверхностное сканирование и послойное исследование изделий. Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия дает возможность определять концентрацию элементов в слоях металла толщиной до 0,1 мкм и исследовать поверхность с пространственным разрешением до 50 мкм при регистрации спектров образца в атмосфере воздуха при нормальном давлении.

Исследования проводились на лазерном спектрометре LSS-1 производства совместного белорусско-японского предприятия «LOTIS-TP», (г. Минск). В качестве источника испарения вещества образца и

возбуждения спектров атомов использовалось излучение двухимпульсного Nd:YAG-лазера с активной модуляцией добротности. Основные параметры лазерного излучения: длина волны – 1064 нм, частота следования импульсов – 10 Гц, длительность на полувысоте – 15 нс, энергия $E_{имп}$ – 10÷60 мДж, временной интервал между сведенными лазерными импульсами Δt – 0÷100 мкс (шаг – 1 мкс). При фиксированных значениях энергии накачки и Δt энергия обоих импульсов одинакова. Нулевой межимпульсный интервал соответствует одновременному воздействию на поверхность двух лазерных импульсов, что можно рассматривать как одиночный импульс, мощность которого равна суммарной мощности сведенных лазерных импульсов.

Объектами исследования являлись образцы дисперсионно-твердеющих сплавов на основе алюминия (дуралюмин Д16), меди (специальная латунь ЛС59, бериллиевая бронза БрБ2, оловянистая бронза БрОФ10). Проведенное исследование показало, что при фиксированной энергии и мощности излучения переход от одиночных к сведенным импульсам приводит к многократному увеличению интенсивности спектральных линий всех компонентов исследуемых сплавов (рисунок 1) [1]. Следует отметить, что максимум интенсивности для каждого элемента приходится на свое значение Δt , что связано с особенностями взаимодействия лазерного излучения с веществом и распространяющейся эрозионной плазмой.

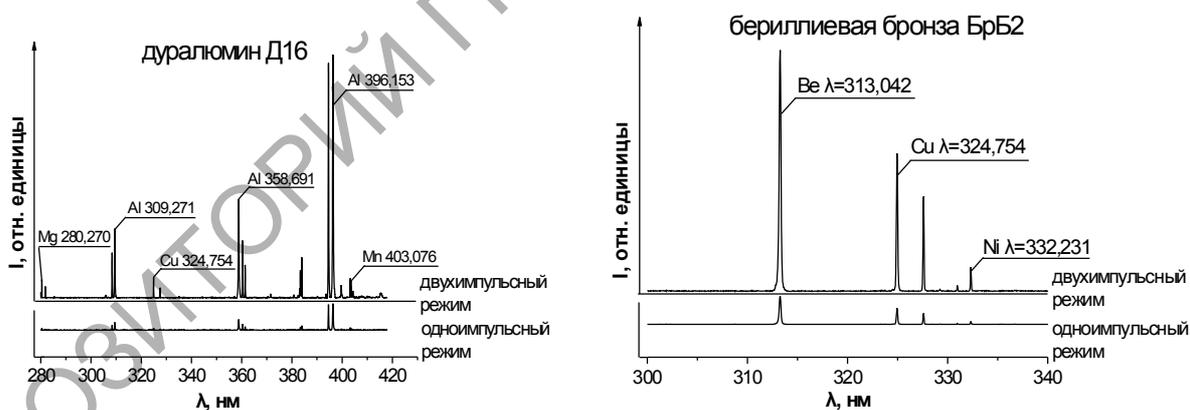


Рисунок 1 – Фрагменты спектров дуралюмина Д16 и бериллиевой бронзы БрБ2, зарегистрированные при одноимпульсном и двухимпульсном лазерном возбуждении с неизменной суммарной энергией и мощностью излучения

Было установлено, что основными причинами существенного увеличения аналитического сигнала являются [2]:

- Дополнительное возбуждение плазмы, образованной первым

импульсом, излучением второго импульса.

- Второй лазерный импульс испаряет вещество с поверхностью предварительно прогретой первым импульсом.

- Передний фронт плазмы, образованной первым импульсом, распространяется от поверхности с высокими скоростями, выталкивая окружающий воздух. В результате второй импульс испаряет вещество в приповерхностную область с повышенной температурой и пониженным давлением и плотностью частиц.

Данные особенности взаимодействия лазерных импульсов, разделенных микросекундными временными интервалами, с веществом и распространяющейся плазмой позволяют одновременно определять концентрацию не только основных компонентов, а также и легирующих элементов, оказывающих существенное влияние на структуру и механические свойства сплавов. При этом, в ряде случаев двухимпульсная лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия является предпочтительным методом прямого анализа сплавов, поскольку дает возможность узнавать содержание элементов, труднодетектируемых традиционными методами анализа (углерод, бериллий) в атмосфере воздуха при нормальном давлении (рисунок 2), например, при рентгеноспектральном анализе.

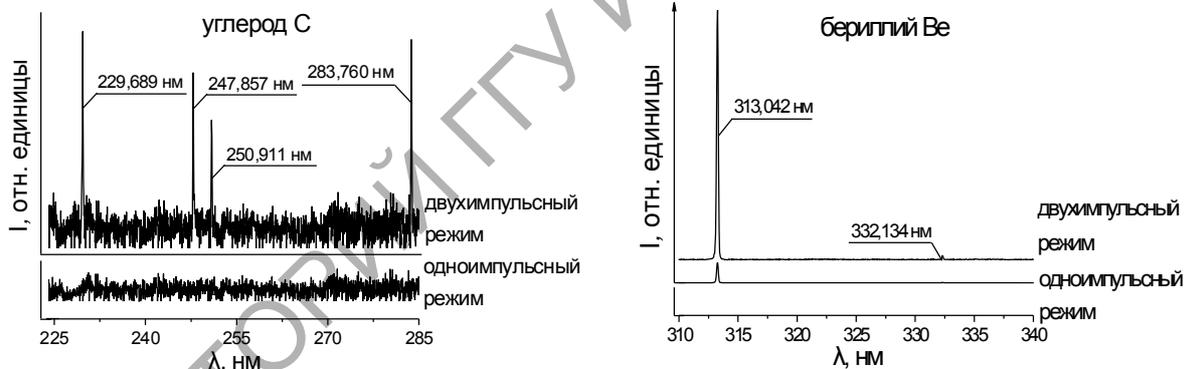


Рисунок 2 – Фрагменты спектров углерода и бериллия, зарегистрированные при одноимпульсном и двухимпульсном лазерном воздействии

Градуировочные графики (со значениями коэффициента корреляции R) для определения концентрации ряда элементов в дисперсионно-твердеющих сплавах методом двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии приведены на рисунке 3.

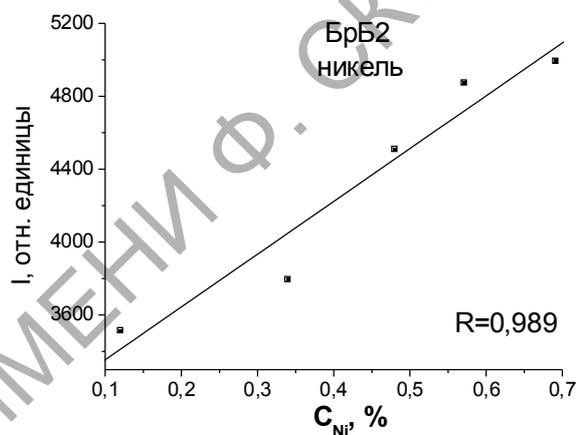
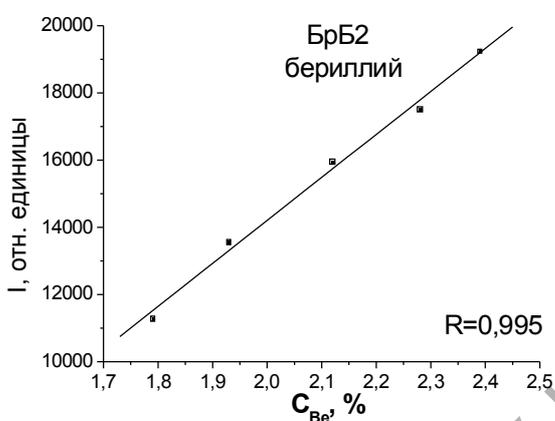
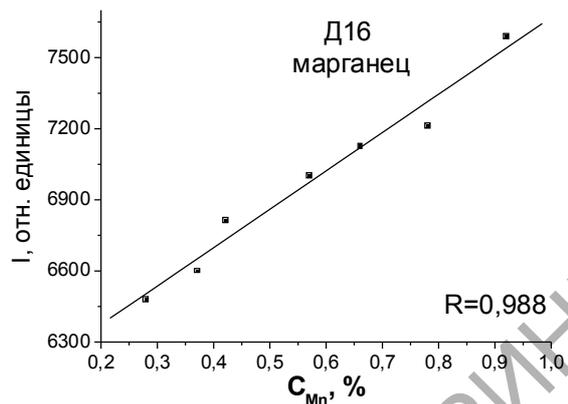
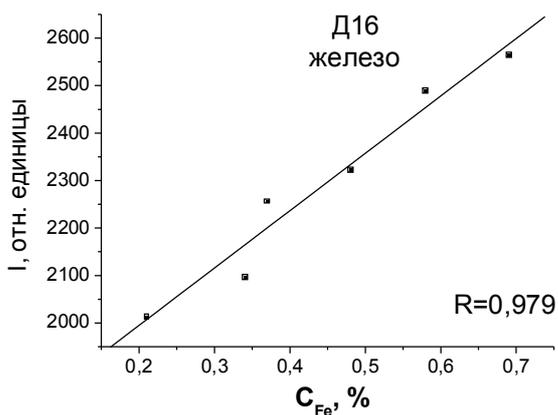


Рисунок 3 – Градуировочные графики для определения концентрации железа Fe и марганца Mn в дуралюмине Д16, бериллия Be и никеля Ni в бериллиевой бронзе БрБ2

Литература

1. Ермалицкая, К.Ф. Двухимпульсная лазерная атомно-эмиссионная спектрометрия бронзовых сплавов и покрытий / К.Ф. Ермалицкая, Е.С. Воропай, А.П. Забогин // ЖПС. – 2010. – Т. 77. – № 2. – С. 165–172.
2. Воропай, Е.С. Динамика процессов в приповерхностной плазме при лазерной абляции латунных сплавов ЛС одиночными и сдвоенными лазерными импульсами / Е.С. Воропай, К.Ф. Ермалицкая // Вестн. Бел. Гос. ун-та, Сер. 1. – 2008. – № 3. – С. 3–6.