

Рис.2. Изменения ИК–свечения в образце магнетитовой руды с включениями кальцита: а) – изменение ИК свечения воздуха в отверстии; б) – свечение отверстия при силовом одноосном нагружении сдвигом.

Анализ полученных в лабораторных экспериментах данных показал, что свечение отверстия в зависимости от этапов подготовки и развития разрушения видоизменяется. Температура воздуха в отверстии, температура на краю отверстия в твердотельной части и в 20 мм от его края существенно различаются. Такие изменения в интенсивности и спектре ИК – свечения обусловлены трением блоков из минералов, составляющих структуру горной породы, движением заряженных дислокаций и точечных дефектов в область образца с наименьшим механическим напряжением (область разгрузки), заряджением пограничных слоев контактирующих минералов или полостей, каковой является и отверстия в образцах горных пород или скважины в массиве горных пород, прорастанием трещин и имитацией электронов в воздушное пространство. В результате существенной разницы теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности между твердотельными составляющими горных пород и воздухом (Таблица 1) происходит разогрев последнего. Особенно сильный разогрев воздуха в отверстии происходит на последних стадиях развития зон деструкции, предразрушения и прорастания магистральной трещины.

Таблица 1.

№ п.п.	Вещество	Плотность кг/м <sup>3</sup>	Удельная теплоемкость, с <sub>p</sub> , кДж/(кг·К)	Теплоемкость С, кДж/(м <sup>3</sup> ·К)	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·К)	Коэффициент температуропроводности а, 10 <sup>-7</sup> м <sup>2</sup> /с
3.	Магнетитовая руда	5125	0.68	3312	2.0 ÷ 2.7	22.0
4.	Мрамор, кальцит	2880	0.75 ÷ 0.86	2375	1.6 ÷ 4.0	7.8 ÷ 12.2
5.	Сиенит	2630 ÷ 2800	0.74 ÷ 0.83	2160	1.8 ÷ 3.0	5.4 ÷ 7.9
6.	Воздух (20 С°)	1.175	1.005	1.18	0.0262	221.7

Таким образом, ИК–радиометрия отображает процесс подготовки разрушения и его свершение в определенном напряженно-деформированном объеме породного массива. Основываясь на этом можно успешно и эффективно использовать ИК–радиометрию для определения места установки регистраторов электромагнитных сигналов типа РЭМС1 и РЭМАС1 и определять направленность мониторинга развития геодинамических событий и краткосрочного прогноза их проявления.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТГ(М) МЕТОДА В ИССЛЕДОВАНИЯХ МАГНИТНЫХ КОМПОЗИТОВ

*Астафьев Александр Леонидович, Лысенко Елена Николаевна*  
*Национальный исследовательский Томский политехнический университет*  
*Научный руководитель*  
*Суржиков Анатолий Петрович*  
*[Astafyev@tpu.ru](mailto:Astafyev@tpu.ru)*

Широкое применение ферритов, во многом, обусловлено наличием у этих материалов высоких магнитных свойств и низкой электропроводности, что делает их незаменимыми в радиотехнике, электронике, вычислительной технике и т.д. Известно, что свойства ферритов определяются фазовым составом и степенью гомогенности, и незначительное отклонение фазового состава способно кардинально изменить магнитные и электрические свойства.

В качестве метода контроля фазового состава ферритовых материалов используется метод рентгенофазового анализа (РФА), однако, как было показано в работе [1], РФА не позволяет получать достаточно достоверные данные при анализе шпинельных структур из-за слияния рефлексов, полученных от фаз с близкими параметрами решетки. По этой причине разработка метода контроля сложных, многокомпонентных ферритов является актуальной задачей. В качестве такого метода контроля фазового состава и степени гомогенности магнитных материалов может выступать термомагнитометрический анализ (ТГ(М)), представляющий собой термогравиметрический анализ с приложенным постоянным магнитным полем. Исследование ферритов широкого состава  $\text{LiFe}_5\text{O}_8$ ,  $\text{Li}_{0,5(1+x)}\text{Fe}_{2,5-1,5x}\text{Ti}_x\text{O}_4$  и  $\text{Li}_{0,5(1-x)}\text{Fe}_{2,5-0,5x}\text{Zn}_x\text{O}_4$  термомагнитометрическим методом было показано в работах [2,3,4]. Однако в этих работах в качестве исследуемых образцов выступали монофазные материалы и применимость ТГ(М) метода на композиционных магнитных материалах еще не проводилось. Данная работа направлена на определение применимости ТГ(М) метода при исследовании магнитных материалов, состоящих из нескольких магнитных компонентов.

В качестве исследуемых материалов были выбраны литий-титановый ( $\text{Li}_{0,6}\text{Fe}_{2,2}\text{Ti}_{0,2}\text{O}_4$ ) и литий-цинковый ( $\text{Li}_{0,4}\text{Fe}_{2,4}\text{Zn}_{0,2}\text{O}_4$ ) ферриты. Ферриты были получены методом твердофазного синтеза в печи сопротивления в воздушной атмосфере при температуре 800 °С в течение 360 минут из промышленных порошков  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$  и  $\text{TiO}_2$ . Для увеличения степени гомогенности через каждые 120 минут твердофазного синтеза производился промежуточный помол в планетарной мельнице АГО-2С. Образцы, в виде порошка общим весом 10 мг, представляли собой смесь литий-титанового и литий-цинкового ферритов в различных весовых пропорциях. Исследования проводились на термическом анализаторе STA 449С Jupiter фирмы Netzsch (Германия), с закрепленными, на внешней стороне измерительной ячейки, постоянными магнитами, создающие напряженность магнитного поля вблизи образца ~5 Э.

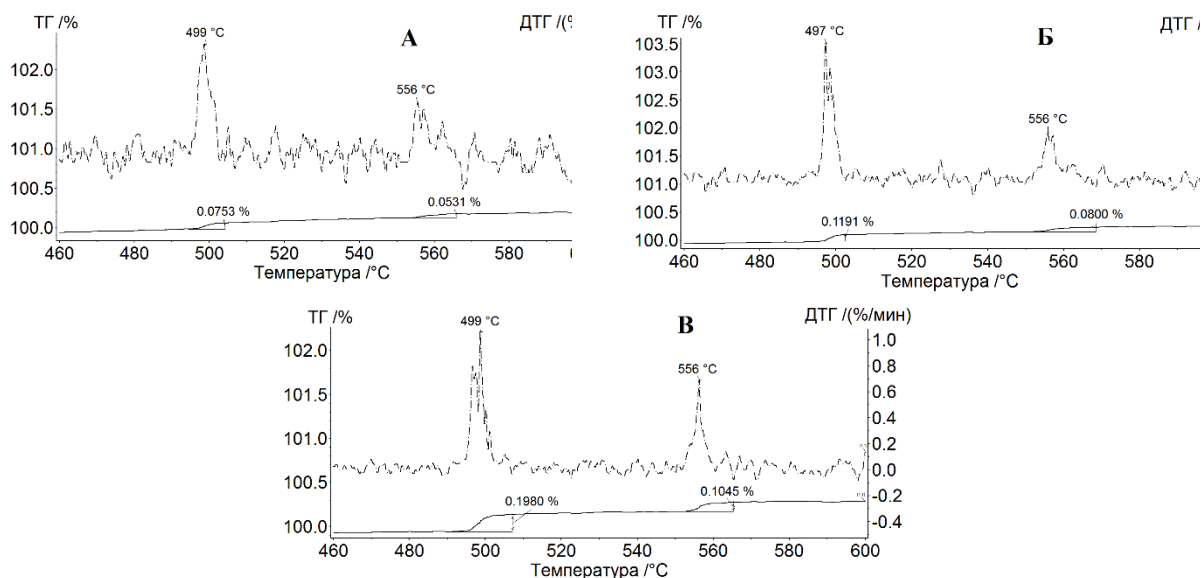


Рис.1 ТГ(М) и ДТГ(М) кривые для смеси литий-титанового и литий-цинкового ферритов в пропорциях: А – 30:70, Б – 50:50 и В – 70:30

На полученных ТГ(М) кривых (рис. 1) 100% соответствует весу образцов при комнатной температуре в магнитном поле. При увеличении температуры значительного изменения веса не наблюдается вплоть до достижения температуры Кюри, при которой происходит переход ферромагнетик-парамагнетик, сопровождающийся скачкообразным увеличением веса, что отчетливо видно на представленных кривых. При таком переходе на кривой ДТГ наблюдается пик, по положению которого можно определить температуру Кюри.

Таким образом, термомагнитометрическим методом возможно определение магнитных фаз в композите из нескольких магнитных компонентов путем идентификации температуры Кюри. Так же, получена корреляция высоты весового скачка на ТГ и высоты пика на ДТГ кривых от процентного содержания компонента в композите. Установлено, что с увеличением содержания литий-титанового феррита увеличивается высота весового скачка на ТГ(М), а также происходит увеличение высоты пика на ДТГ(М) зависимости, для литий-цинкового феррита наблюдается обратная зависимость. Данная корреляция будет использоваться в будущем для проведения количественного фазового анализа магнитных материалов термомагнитометрическим методом.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.*

Список литературы:

- [1] Левин Б.Е., Третьяков Ю.Д., Летюк Л.М. *Физико-химические основы получения, свойства и применение ферритов.* – М.: Металлургия, 1979. – 472 с.
- [2] Оценка фазового состава литий замещенных ферритов с помощью термомагнитометрического анализа и математического моделирования [Электронный ресурс] = *Estimation of substituted lithium ferrite phase composition by thermomagnetic analysis and mathematical modeling* / А. П. Суржиков [и др.] // *Контроль. Диагностика.* — 2014. — № 11. — [С. 30-33]
- [3] *Investigation of the Phase Composition of Lithium-Titanium Ferrites by Thermo-Magnetometric and X-Ray Analysis* [Electronic resource] / A. L. Astafyev, E. N. Lysenko, A. P. Surzhikov // *Advanced Materials Research : Scientific Journal.* — 2015. — Vol. 1085 :
- [4] *Development of control method for ferrite phase composition using thermomagnetic analysis* [Electronic resource] / A. L. Astafyev [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2014. — Vol. 66:
- [5] *Estimation of thermomagnetometry method sensitivity for magnetic phase determination* [Electronic resource] / A. L. Astafyev, A. P. Surzhikov, E. N. Lysenko // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* — 2016. — Vol. 110

## **ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Беркутов Игорь Владимирович<sup>1</sup>, Кинжагулов Игорь Юрьевич<sup>1</sup>, Быченко Владимир Анатольевич<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий  
механики и оптики*

<sup>2</sup>*Учреждение науки «Инженерно-конструкторский центр сопровождения эксплуатации космической  
техники»*

*Федоров Алексей Владимирович, д.т.н.*

*berk.iv@mail.ru*

Современное развитие процессов изготовления сложных технических изделий требует внедрения новых наукоемких технологий. К такой категории можно смело отнести аддитивные технологии, которые активно внедряются в процессы производства сложнопрофильных изделий в космической и авиационной отраслях промышленности. Одной из реализаций данных технологий является метод селективного лазерного спекания (СЛС).

Микроструктура образцов изделий, полученных методом СЛС, существенным образом зависит от характеристик исходного порошка и режимов их изготовления. Лазерное выращивание имеет сходство с процессами сварки, однако, в отличие от последнего, термическое воздействие при выращивании более интенсивное и длительное, что обуславливает возникновение механических напряжений, анизотропию механических свойств и склонность к образованию трещин, а при нарушении режима или используемой фракции исходного порошка - к образованию пор. Соответственно, существует вероятность возникновения брака, что при производстве ответственных и дорогостоящих изделий недопустимо.

Особенности изделий, полученных методом СЛС, такие как анизотропия свойств, пористость, структура и дефекты зависящие от режима производства, а также отсутствие необходимого объема достоверной информации об акустических свойствах получаемых материалов и процессах возникновения разноориентированных дефектов не позволяют применить известные методики и нормативные документы по ультразвуковому контролю. Исходя из этого, в докладе представлены результаты экспериментальной