

**ТЕХНОЛОГИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВЗРЫВНОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЕМ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ В  
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

*А.П. Родзевич<sup>1,а</sup>, ст. преп., Е.Г. Газенаур<sup>2,б</sup>, к.ф.-м.н., доц., Л.В. Кузьмина<sup>2,с</sup>, д.ф.-м.н., проф.*

<sup>1</sup> *Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)62248*

<sup>2</sup>*Кемеровский государственный университет, 650043, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел. (3842)580605*

*<sup>а</sup>E-mail: nimez@tpu.ru, <sup>б</sup>e-mail: gazenaur@kemsu.ru, <sup>с</sup>e-mail: specproc@kemsu.ru*

Материалы современной техники часто используются в экстремальных условиях (индивидуально или комбинированного действия электромагнитных полей, лазерного излучения, света, температуры), при которых в них могут происходить различные физико-химические превращения, принципиально ограничивающие области их применения. Из совокупности действующих факторов все больший интерес представляют электромагнитные поля неконтролируемого происхождения (различные проявления статического электричества, излучения мощных электротехнических и радиотехнических устройств, действие различных техногенных источников и т.д.). Спецификой данного вида воздействия на такие материалы, как взрывчатые вещества, является возможность возбуждения в них быстропротекающих процессов, что может служить причиной пожаров и взрывов. В связи с этим, встает вопрос разработки эффективных методов управления взрывной чувствительностью и стабильностью энергетических материалов, что является актуальным также и для угольных отраслей промышленности.

Работа является одной из первых в отечественной и мировой практике попыток разработки эффективных методов управления взрывной чувствительностью инициирующих взрывчатых веществ (на примере нитевидных кристаллов азида серебра) на основе технологии получения и обработки энергетических материалов в сверхслабом электрическом (до 1 мкВ/см) и магнитном (до 0,001 Тл) полях. Практическая значимость настоящей работы определяется возможностью использования полученных экспериментальных данных для целенаправленного изменения реакционной способности взрывчатых материалов.

В качестве объектов настоящего исследования использовали нитевидные кристаллы азида серебра - традиционный модельный объект для создания теории быстрых реакций в твердых телах, способный под действием внешних факторов различной природы претерпевать необратимые превращения с образованием инертных конечных продуктов (молекулярного азота и металла), легко анализируемых традиционными физико-химическими методами. Для азида серебра достаточно подробно исследованы физико-химические свойства, определена зонная структура и параметры кристаллической решетки [1-3]. Практическая значимость кристаллов азида серебра определяется, прежде всего, возможностью использования их в качестве взрывчатых веществ с высокой инициирующей способностью [1,4], а также чувствительных датчиков измерения сверхнизких электрических и магнитных полей.

Предлагаемая в работах [5-7] технология кристаллизации неорганических веществ в электрическом поле позволила получать образцы с улучшенными рабочими характеристиками (монодисперсность, минимальное количество дефектов, увеличенный срок хранения, регулируемый варьированием напряженности электрического поля при кристаллизации размер и т.д.). Образцы азида серебра, полученные на автоматизированной установке синтеза и кристаллизации, описанной в работе [6], содержат минимальное количество дефектов. Содержание примеси положительных ионов металлов  $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Pb^{2+}$ , оцененное атомно-эмиссионным (использовали атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP 6500) и рентгенофлуоресцентным (исследования проводили на установке JEOL JSM-6390 LA, комбинированный РЭМ-РМА) методами анализа, составляет в среднем  $2 \cdot 10^{-5}$  мольных процента; плотность дислокаций, определяемая методом ямок травления [8], составляет в среднем  $2 \cdot 10^2$  см<sup>-2</sup>.

Процессом твердофазного разложения азида серебра, как показали результаты наших исследований [9], можно эффективно управлять с помощью бесконтактного электрического поля. Возможности применения для этих целей слабых электромагнитных полей, моделирующих реальные условия хранения и транспортировки взрывчатых веществ, и посвящена настоящая работа.

Для изучения закономерностей разложения использовали схему прямого эксперимента: воздействие - отклик. Взрывное разложение нитевидных кристаллов азида серебра инициировали двумя способами:

1. импульсом длительностью 10 нс, длиной волны 1064 нм (энергия в импульсе до 1,1 Дж YAG: Nd лазера LDPL10M и импульсом длительностью от 200 мкс до 20 мс длиной волны 1070 нм (энергия в импульсе до 20 Дж) иттербиевого квазинепрерывного волоконного лазера [4,10]. Экспозиция инициирования на поверхности образца определялась с помощью пироэлектрической головки PE50BF-DIF-C (OphirPhotonics) и контролировалась по сигналу откалиброванного фотодиода. Для инициирования использовалась только центральная часть пучка лазера, что обеспечивало достаточно однородное распределение интенсивности возбуждения по поверхности образца. Разброс энергий инициирующего импульса не превышал 3%. Аппроксимацию экспериментальных данных проводили по зависимости вероятности взрыва от экспозиции инициирования в рамках микроочаговой модели зарождения цепной реакции взрывного разложения энергетических материалов, предложенной в работе [11].

2. контактным электрическим полем. Электрическое поле напряженностью 300 кВ/м создавали при помощи источников питания постоянного тока. В качестве электрических контактов использовали галлий (межэлектродное расстояние составляло 1 мм). В этих условиях осуществляется режим монополярной инжекции дырок, которые, попадая в реакционные области, стимулируют протекание химической реакции [9]. Взрывную чувствительность определяли как время задержки взрыва. Измерение времени задержки взрыва имеет ряд особенностей, обусловленных вероятностным характером взрывного разложения, в большей степени в области малых напряженностей. Измеряемая величина времени задержки взрыва содержит вероятностную компоненту, и как показали эксперименты, зависит от биографии образца. В качестве эталонного приняли время задержки взрыва при напряженности контактного электрического поля 300 кВ/м (эта напряженность поля соответствует при вероятности 80-95 % времени задержки взрыва в среднем  $360 \pm 20$  с).

Экспериментально установлено уменьшение взрывной чувствительности у образцов, выращенных в электрическом поле, при инициировании взрывного разложения контактным электрическим полем (время задержки взрыва составляет в среднем 6000 с против 360 с у образцов, выращенных обычным способом).

Анализ зависимости вероятности взрыва от экспозиции инициирования при лазерном инициировании (вариант 2 инициирования взрывного разложения исследуемых образцов) показал, что нитевидные кристаллы азиды серебра, выращенные в электрическом поле, имеют более высокий (примерно в полтора раза по сравнению с контрольными образцами, выращенными без поля) порог инициирования. Кроме того, пороговое значение экспозиции увеличивается при увеличении напряженности бесконтактного постоянного электрического и магнитного полей при кристаллизации.

Таким образом, использование технологии получения и обработки материалов в слабом электромагнитном поле, в указанном диапазоне напряженностей, позволило, изменяя дефектную и дисперсную структуру этих материалов, управлять их взрывной чувствительностью, что определяет возможность использования полученных экспериментальных результатов для целенаправленного управления стабильностью взрывоопасных материалов.

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №16-03-00313 А «Взрывная чувствительность энергетических материалов во внешних полях».***

Литература.

1. Walker, B.F. Energetic Materials. Physics and chemistry of inorganic azides. / Ed. by H. D. Fair, B.F. Walker. - New York: Plenum Press, 1977. - Vol. 1. - 503 p.
2. Gordienko, A. B. Electronic Structure of Metal Azides / A. B. Gordienko, Yu. N. Zhuravlev, A. S. Poplavnoy // Phys. stat. sol. (b), 1996. - V. 197. - № 2. - P. 707-719.
3. Gora, T. Electronic structure of the azide ion and metal azide / T. Gora, D. S. Downs, P. J. Kemmeyer, et al. // Energetic materials. - New York: Plenum Press, 1997. - V. 1. - P. 193-250.
4. Aduv, B.P. Explosive decomposition of heavy-metal azides. / B.P. Aduv, É.D. Aluker, G.M. Belokurov, Yu.A. Zakharov, et al. // Journal of Experimental and Theoretical Physics. - 1999. - T. 89. - № 5. - С. 906-915.
5. Rodzevich, A.P. On a mechanism of an electric field influence on physicochemical specifications of materials / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, V.I. Krasheninina // Applied Mechanics and Materials. - 2013. - Vol. 379. - p. 154-160.
6. Rodzevich, A.P. The Technology of Production and Treatment of Materials in the Electric Field / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, G.M. Belokurov. // Applied Mechanics and Materials. - 2014. - Vol. 682. - pp. 206-209.

7. Rodzevich, A.P. Features of Physical and Chemical Properties of Inorganic Salts, Grown in the Electric Field. / A.P. Rodzevich, E.G. Gazenaur, A.S. Walnukova, L.V. Kuzmina. // The 7th International Forum on Strategic Technology IFOST2012, 2012. pp. 296-299.
8. Sangwal K. Etching of crystals: Theory, experiment, and application. In S. Amelinckx and J. Nihoul, Eds., Defects in Solids. North-Holland: Amsterdam, 1987. 497 p.
9. Zakharov, V. Yu. The control of solid phase decomposition of silver azide by noncontact electric field / V. Yu. Zakharov, V. I. Krasheninina, L. V. Kuz'mina, et al. // Solid State Ionics. - 1997. - V. 101-103. - P. 161-164.
10. Kriger, V.G. The effect of crystal size on initiation of decomposition of heavy metal azides by pulse radiation. / V.G. Kriger, A.V. Kalenskii. // Russian Journal of Physical Chemistry. - 1996. - T. 15. - № 3. - С. 351-358.
11. Aluker, E.D. Early Stages of Explosive Decomposition of Energetic Materials, in Focus on Combustion Research, ed. by Sung Z. / E.D. Aluker, B.P. Aduiev, Y.A. Zakharov, A.Y. Mitrofanov, A.G. Krechetov // Focus on Combustion Research. / Aluker E.D -New York: Novapublishers, 2006. P. 55.

### ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КАРБОНАТНЫХ МАРГАНЦЕВЫХ РУД\*

*И.Д. Рожихина<sup>1</sup>, д.т.н., проф., О.И. Нохрина<sup>2</sup>, д.т.н., проф.,  
И.Е. Прошунин<sup>3</sup>, к.т.н.*

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет  
654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, тел. (3843)-74-86-14*

<sup>2</sup>*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

<sup>3</sup>*АО «ЗСМК», г. Новокузнецк, Кемеровская область, e-mail: kafamsf@sibsiu.ru*

Анализ состояния и перспективы развития марганцеворудной сырьевой базы свидетельствуют о целесообразности разработки технологических схем с целью вовлечения в производство имеющихся в России марганцевых руд, в том числе и карбонатных.

Крупнейшее месторождение марганцевых руд России, Усинское, включает 55 % балансовых запасов страны. Оно расположено в Кемеровской области в пределах Алтае-Саянской металлогенической провинции. Марганцевые руды Усинского месторождения характеризуются сравнительно низким содержанием марганца (18 – 22 %) и повышенным содержанием фосфора (0,2 – 0,3 %) [1]. Усинское месторождение сложено двумя генетическими типами руд: первичными (карбонатными) и вторичными (окисленными), химический состав которых приведен в таблице 1. Доля карбонатных руд составляет 94 %, окисленных – 6 % [2].

Таблица 1

Химический состав марганцевых руд Усинского месторождения [3]

Руда	Химический состав, %									
	Mn	Fe	P	S	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ППП	CO <sub>2</sub>
Окисленная	26,9	8,5	0,27	0,05	25,30	3,70	5,0	1,30	13,44	4,31
Карбонатная	19,3	5,96	0,18	1,09	10,33	1,67	14,9	3,17	24,01	23,57

Прямой плавкой практически невозможно получить стандартные сплавы ферромарганца и силико-марганца, целесообразна разработка новых нетрадиционных методов использования этих руд для получения из них материалов хорошего качества, а также таких методов, которые обеспечат заметное повышение извлечения марганца при плавке традиционным углеродотермическим способом [4].

На кафедре металлургии черных металлов был разработан состав смесей для обработки стали марганецсодержащими материалами с использованием в качестве восстановителя кремния самораспадающегося комплексного сплава, выплавленного из Усинской карбонатной руды и кварцита Антоновского месторождения углеродотермическим процессом.

\* Работа выполнена в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Минобрнауки РФ на 2014 – 2016 гг.