НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «АЛТАЙ»
ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА «МЕДИЦИНА БУДУЩЕГО»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ХИМИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
UNIVERSITÉ LYON 1

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЯ, АНТИТЕРРОРИЗМ И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Тезисы XII Международной конференции «HEMs-2016»
7–9 сентября 2016 года
(г. Томск, Россия)

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

NATIONAL RESEARCH TOMSK STATE UNIVERSITY
JSC FEDERAL RESEARCH & PRODUCTION CENTER ALTAI
TECHNOLOGY PLATFORM «MEDICINE OF THE FUTURE»
INSTITUTION OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
INSTITUTE FOR PROBLEMS OF CHEMICAL & ENERGETIC TECHNOLOGIES, SIBERIAN BRANCH RAS
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
UNIVERSITÉ LYON 1

HIGH ENERGY MATERIALS: DEMILITARIZATION, ANTITERRORISM AND CIVIL APPLICATION

Abstracts book of the XII International Workshop «HEMs-2016»
September 7–9, 2016
(Tomsk, Russia)

Tomsk
Publishing House of Tomsk State University
2016

ББК 3.35
УДК 662.3:658.149.3(063)
В932

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЯ,
В932 АНТИТЕРРОРИЗМ И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ: Тезисы XII Международной конференции «HEMs-2016». 7–9 сентября 2016 года (г. Томск, Россия). – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2016. – 198 с.

ISBN 978-5-94621-559-6

В сборнике представлены результаты исследований, отражающие актуальные вопросы использования высокоэнергетических материалов в различных областях индустрии, а также материалы по двигательным установкам и газогенераторам. Изложены новые аспекты применения наноматериалов и нанотехнологий в высокоэнергетических системах. Освещены результаты исследований в области научного обеспечения антитеррористических задач.

ББК 3.35
УДК 662.3:658.149.3(063)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ

Э.В. Галажинский	сопредседатель, ректор ТГУ, профессор (Россия)
А.С. Жарков	сопредседатель, АО «ФНПЦ «Алтай», член-корр. РАН (Россия)
Г.В. Сакович	сопредседатель, ИПХЭТ СО РАН, академик РАН (Россия)
А.Б. Ворожцов	ТГУ, ИПХЭТ СО РАН, профессор (Россия)
Ю.М. Михайлов	НТС ВПК Правительства РФ, академик РАН (Россия)
Ю.С. Соломонов	ОАО «Корпорация «МИТ», академик РАН (Россия)
Е.В. Буйлова	ОАО «Российская промышленная коллегия» (Россия)
С.В. Сысолятин	ИПХЭТ СО РАН, доктор (Россия)
Е.М. Максимов	Федеральная Служба Безопасности РФ, профессор (Россия)
А.М. Дыгай	НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга, академик РАН (Россия)
Herve Graindorge	Airbus Safran Launchers, доктор (Франция)
Keiichi Hori	JAXA/ISAS, профессор (Япония)
Guy Jacob	Airbus Safran Launchers, доктор (Франция)
Edward L. Dreizin	New Jersey Institute of Technology, профессор (США)
Adam Cumming	Edinburgh University UK, профессор (Великобритания)
Raphaël Terreux	Université Lyon 1, профессор (Франция)
Helmut Schmid	Fraunhofer ICT, доктор (Германия)
М.Г. Хмелева	Ответственный секретарь, ТГУ (Россия)

© Томский государственный университет, 2016

UDC 3.35
LBC 662.3:658.149.3(063)

HIGH ENERGY MATERIALS: DEMILITARIZATION, ANTITERRORISM AND CIVIL APPLICATION: Abstracts book of the XII International Workshop HEMs-2016. September 7–9, 2016 (Tomsk, Russia). – Tomsk : Publishing House of Tomsk State University, 2016. – 198 p.

ISBN 978-5-94621-559-6

The results of research reflecting urgent problems in use of high-energy materials in various industries are presented in the book of abstracts. The materials on propulsion systems and gas generators are included. The description of new aspects of nanomaterials and nanotechnologies in high-energy systems are also included. The results of research in scientific basis to anti-terrorist problems are also highlighted.

UDC 3.35
LBC 662.3:658.149.3(063)

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Prof. Eduard Galazhinskiy	Chairman, Head of University TSU (Russia)
Alexander Zharkov	Chairman, Corresponding Member RAS, JSC FR&PC «Altai» (Russia)
Acad. Gennadiy Sakovich	Chairman, IPCET SB RAS (Russia)
Prof. Alexander Vorozhtsov	TSU, IPCET SB RAS (Russia)
Acad. Yuriy Mikhailov	Military-Industrial Commission Of Russia
Acad. Yuriy Solomonov	Moscow Institute of Thermal Technology (Russia)
Mrs. Elena Bulova	JSC «Russian Industry Board» (Russia)
Dr. Sergey Sysolyatin	IPCET SB RAS (Russia)
Prof. Evgeniy Maximov	Federal Security Department (Russia)
Acad. Alexander Dygai	Institute of pharmacology and regenerative medicine named after E.D. Goldberg (Russia)
Dr. Herve Graindorge	Airbus Safran Launchers (France)
Prof. Keiichi Hori	JAXA/ISAS (Japan)
Dr. Guy Jacob	Airbus Safran Launchers (France)
Prof. Edward L. Dreizin	New Jersey Institute of Technology (USA)
Prof. Adam Cumming	Edinburgh University UK
Prof. Raphaël Terreux	Université Lyon 1 (France)
Dr. Helmut Schmid	Fraunhofer ICT (Germany)
Mrs. Marina Khmeleva	Secretary of the Conference (Russia)

© Tomsk State University, 2016

DOI: 10.17223/9785946215596/1

Уважаемые коллеги!

Международная конференция HEMs-2016 «Высокоэнергетические материалы: демилитаризация, антитерроризм и гражданское применение» – это регулярное мероприятие, задуманное и реализованное при общей идее Генерального директора АО ФНПЦ «Алтай», член-корреспондента РАН А.С. Жаркова, и заместителя директора ИПХЭТ СО РАН, директора Центра, доктора физико-математических наук, профессора Ворожцова А.Б. с российской стороны и профессора Luigi DeLuca (Politecnico di Milano, Italy) и директора по науке Herve Graindorge (Airbus Safran Launchers, France) с зарубежной стороны.

Тематика конференции охватывает как фундаментальные, так и прикладные проблемы гражданского применения высокоэнергетических материалов и научно-технического обеспечения антитеррористической деятельности, синтез фармакологических субстанций и их исследование, современное состояние и перспективы развития следующих направлений:

- проектирование высокоэнергетических материалов, их характеристики, диагностика, горение;
- демилитаризация / утилизация / экология энергетических систем;
- ракетные двигатели для космических систем, газогенераторы;
- нанотехнологии (в том числе в медицине и фармацевтике);
- высокоэнергетические материалы для антитеррористических целей;
- химические субстанции двойного назначения и медико-биологические материалы.

От имени Международного научного и рабочего организационного комитетов рад приветствовать Вас, участников Международной конференции HEMs-2016, в Томске. Полагаю, что проведение конференции будет способствовать укреплению сотрудничества и обмену идеями известных ученых разных стран и специалистов-производственников, работающих над созданием высокоэнергетических материалов и химических субстанций и их практического использования. Желаю участникам конференции плодотворной работы, реализации намеченных планов и новых успехов!

А.Б. Ворожцов,
член Международного научного комитета,
профессор

DOI: 10.17223/9785946215596/1

Dear Colleagues!

The International Workshop HEMs-2016 is a regular event conceived and implemented by Corresponding member of RAS A.S. Zharkov of Federal Research and Production Center «ALTAI», and Deputy director of Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies SB RAS, Professor A.Vorozhtsov from the Russian side and Professor Luigi DeLuca (Politecnico di Milano, Italy) and Director of science Herve Graindorge (Airbus Safran Launchers, France) from the foreign side.

The subject area of the Workshop includes civil application of high-energy materials and antiterrorist activities, modern state and perspectives of the following directions:

- high-energy materials engineering, their characteristics, diagnostics and burning;
- demilitarization / utilization / energy systems ecology;
- rocket engines for space system, gas generators;
- nanoscience and nanotechnologies (including medicine and pharmaceutics);
- high-energy materials for antiterrorism;
- double-purpose chemical substances and medical-biological materials.

On behalf of International scientific and organization committees I am glad to meet you in Tomsk.

I believe that the conference will promote closer cooperation and exchange of ideas of famous scientists from different countries and specialists working on the creation of highly energetic materials and chemical substances and their practical use. I wish all of you fruitful work and new success!

Alexander Vorozhtsov,
Member of International Scientific Committee,
Professor

СЕКЦИЯ 1

Председатели: C. Pulham, С.В. Сысолятин, E. Dreizen, А.Н. Пивкина

1st SESSION

Co-chairs: C. Pulham, S.V. Sysolyatin, E. Dreizen, A.N. Pivkina

DOI: 10.17223/9785946215596/2

MECHANOCHEMICALLY PREPARED REACTIVE AND ENERGETIC MATERIALS

Edward L. Dreizin
New Jersey Institute of Technology
Newark, NJ, USA

Reactive and energetic materials are typically metastable, and are expected to transform into thermodynamically favorable reaction products with substantial energy release. Preparation of such materials by mechanical milling is challenging: they are easily initiated by impact or friction. At the same time, milling offers a simple, scalable, and controllable technology capable of mixing reactive components on the nano-scale. In most cases, for reactive materials milling should be interrupted or arrested to preserve the metastable phases. Arrested reactive milling was exploited to prepare many inorganic reactive materials, including nanocomposite thermite, metal-metalloid, and intermetallic systems. Prepared materials are fully dense composites with unique properties, combining high density with extremely high reactivity. Staged milling was used to prepare hybrid reactive materials with different components mixed on different scales; it was also used to tune the particle size distributions of metal-based reactive material powders. Metal-halogen composites were prepared, with metal matrix stabilizing a halogen (I2,Cl2) at temperatures substantially exceeding its boiling point. Most recently, nitrated organic compounds were synthesized as precursors for preparation of energetic materials. Work on mechanochemical preparation of reactive and energetic materials will be reviewed with the focus on unique properties and ignition and combustion mechanisms of the mechano-chemically prepared reactive materials.

DOI: 10.17223/9785946215596/3

СИНТЕЗ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСААЗАИЗОВЮРЦИТАНА

С.В. Сысолятин, А.Э. Паромов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем химико-энергетических технологий
Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск

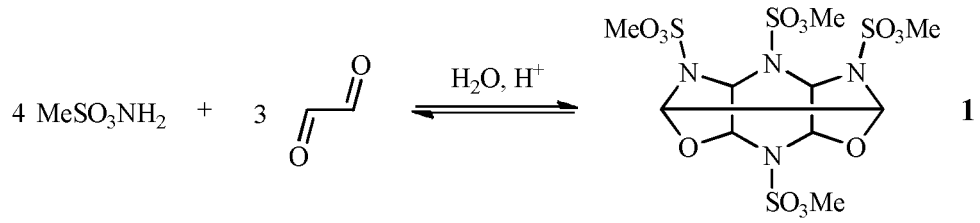
Интерес к соединениям, содержащим тетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$$0^{5,9}$]додекановый каркас, преимущественно вызван их возможным использованием в качестве перспективных высокоэнергетических соединений. В настоящее время известен синтез ряда веществ содержащих гексаазаизовюрцитановый и оксаазаизовюрцитановый каркас. Так одним из самых мощных взрывчатых веществ является 2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (1) (ГАВ, CL-20) [1].

Известно, что замена части нитраминных групп в каркасе ГАВ на эфирные приводит к снижению чувствительности и растворимости образуемых взрывчатых соединений без значительной потери плотности. Поэтому, получение новых нитрозамещённых производных окса-

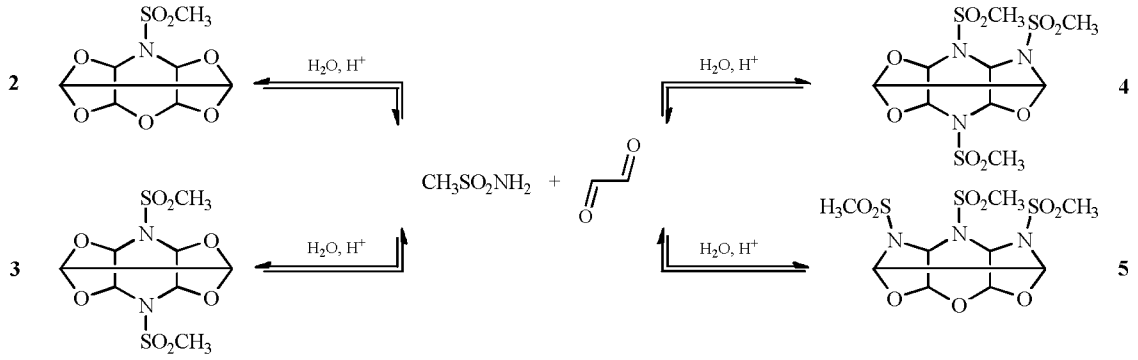
азатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекана (оксаазаизовюрцитана) является многообещающим направлением в поиске перспективных малочувствительных высокоэнергетических соединений. Главной проблемой в получении таких соединений является сложность получения соединений содержащих каркаса оксаазаизовюрцитана [2, 3].

Нами была изучена кислотно катализируемая конденсация ряда замещённых сульфониламидов с глиоксалем с целью получения соединений содержащих и оксаазаизовюрцитановый каркас.

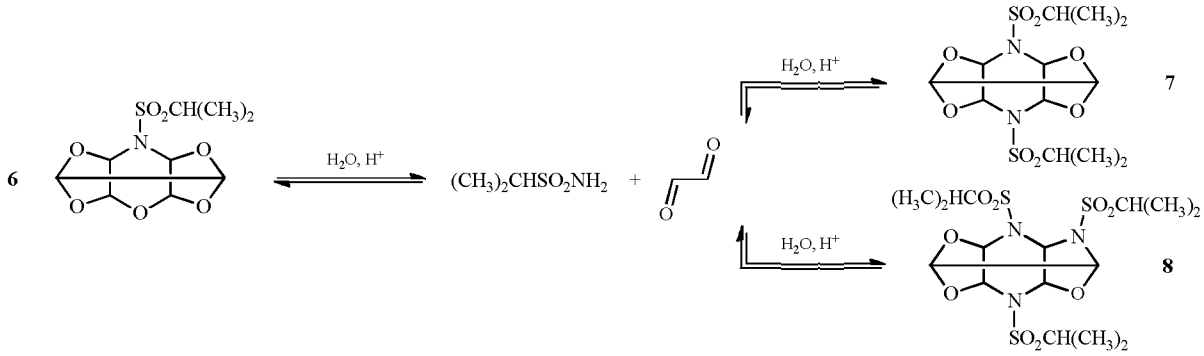
В результате конденсации солей сульфаминовой кислоты ($MeSO_3NH_2$, Me – щелочной металл) с глиоксалем нами были получены соли 2,6-диокса-4,8,10,12-тетраазатетрацикло [5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан-4,8,10,12-тетросульфокислоты (**1**).



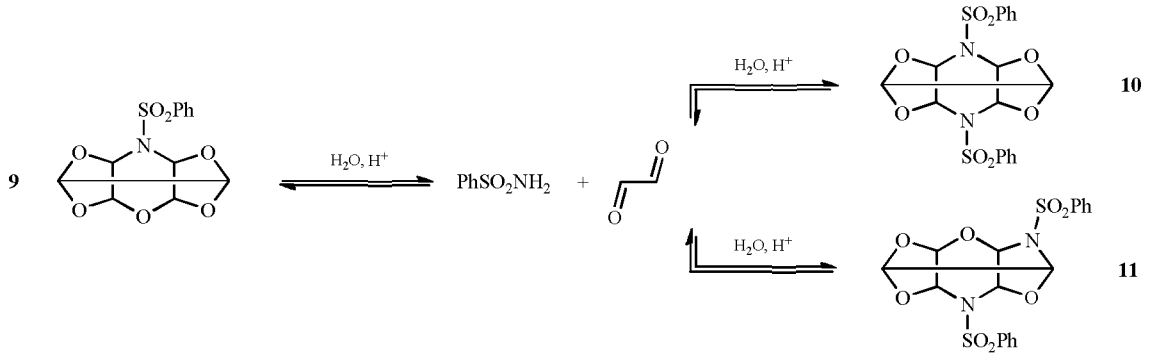
В результате конденсации метансульфамида с глиоксалем получены 10-метансульфонил-2,4,6,8,12-пентаокса-10-азатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан (**2**), 4,10-диметансульфонил-2,6,8,12-тетраокса-4,10-диазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**3**), 4,10,12-триметансульфонил-2,6,8-триокса-4,10,12-триазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**4**) и 8,10,12-триметансульфонил-2,4,6-триокса-8,10,12-триазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**5**).



Аналогично в реакцию кислотно-катализируемой конденсации с глиоксалем вступает изопропилсульфониламид и фенилсульфониламид. В результате конденсации изопропилсульфониламида с глиоксалем получен 10-изопропилсульфонил-2,4,6,8,12-пентаокса-10-азатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан (**6**), 4,10-диизопропилсульфонил-2,6,8,12-тетраокса-4,10-диазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**7**) и 8,10,12-триизопропилсульфонил-2,4,6-триокса-8,10,12-триазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}0^{5,9}$]додекан (**8**). Получить соответствующее производное 2,4,6-триокса-8,10,12-триазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекана, не удалось. Предположительно, это связано с возросшими стерическими затруднениями.



В результате конденсации фенилсульфониламида с глиоксалем получены 10-фенилсульфонил-2,4,6,8,12-пентаокса-10-азатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан (**9**), 4,10-дифенилсульфонил-2,6,8,12-тетраокса-4,10-диазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**10**) и 6,10-дифенилсульфонил-2,4,8,12-тетраокса-6,10-диазатетрацикло[5.5.0.$0^{3,11}$.$0^{5,9}$]додекан (**11**). Также нам не удалось ввести в каркас оксаазаизовюрцитана больше двух азагрупп. По-видимому, это связано со значительно возросшими стерическими затруднениями, оказываемыми объёмной фенильной группой на процесс сборки каркаса.



Нитролиз полученных соединений азотной кислоты и смесями на ее основе приводит к получению ряда циклических нитраминов. Показана взаимосвязь физико-химических и взрывчатых характеристик и строения каркасных нитроминов.

Синтезированные соединения представляют интерес в качестве высокоэнергетических соединений и прекурсоров лекарственных веществ.

Литература

1. Сысолятин С.В., Лобанова А.А., Черникова Ю.Т., Сакович Г.В. Методы синтеза и свойства гексанитрогексаазаизовюрцитана // Успехи химии. 2005. Т. 74, № 8. С. 830–838.
2. Сысолятин С.В., Лобанова А.А., Сурмачёв В.Н., Черникова Ю.Т. Получение 2,4,6,8,10,12-гексанитро-2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекана и его структурных аналогов // Материалы междунар. науч.-техн. и метод. конф. «Современные проблемы технической химии». Казань, 2004. С. 333–337.
3. Sysolyatin S.V., Sakovich G.V., Chernikova Yu.T., Surmachev V.N., Lobanova A.A. In 37th Annual Conference of ICT. Karlsruhe, 2006. P. 141/1.

DOI: 10.17223/9785946215596/3

SYNTHESIS OF OXAAZAISOWURTZITANE DERIVATIVES

S.V. Sysolyatin, A.E. Paromov

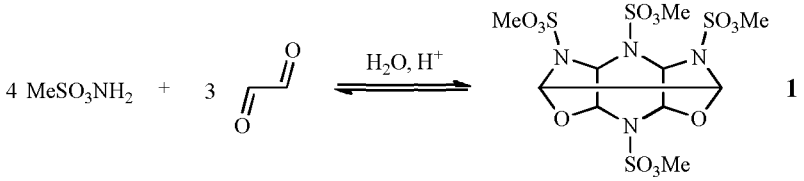
Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk

The interest in compounds containing the tetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}0^{5,9}$]dodecane cage is basically due to their potential application as promising high-energy materials. The synthesis of a series of compounds that contain hexaazaisowurtzitane and oxaazaisowurtzitane cages is currently known. For instance, one of the most powerful explosives is 2,4,6,8,10,12-hexanitro-2,4,6,8,10,12-hexaazatetracyclo [5,5,0,$0^{3,11}0^{5,9}$]dodecane (**1**) (HNIW, CL-20) [1].

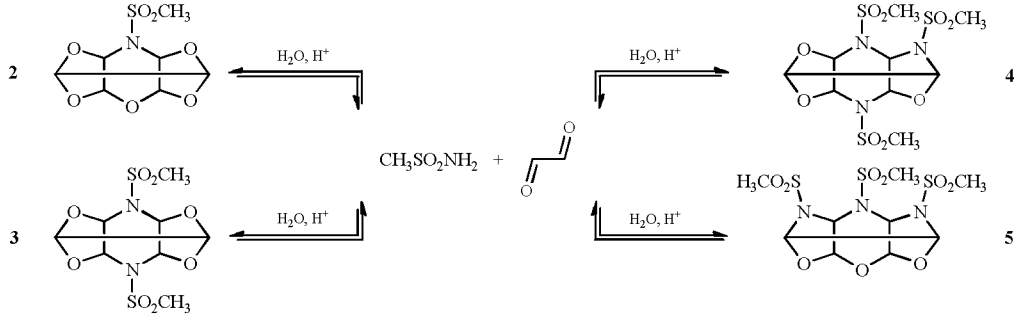
It is well known that substitution of ester groups for some nitramine groups in the HNIW cage decreases sensitivity and solubility of the resultant explosives without significant loss of density. Therefore, a synthesis of new nitro-substituted derivatives of oxaazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}0^{5,9}$]dodecane (oxaazaisowurtzitane) is a hopeful area in search for promising insensitive high-energy materials. The major challenge in preparing such compounds is a complicated synthesis of compounds bearing the oxaazaisowurtzitane cage [2, 3].

We have studied an acid-catalyzed condensation of substituted sulfonamides with glyoxal in order to synthesize compounds containing the oxaazaisowurtzitane cage.

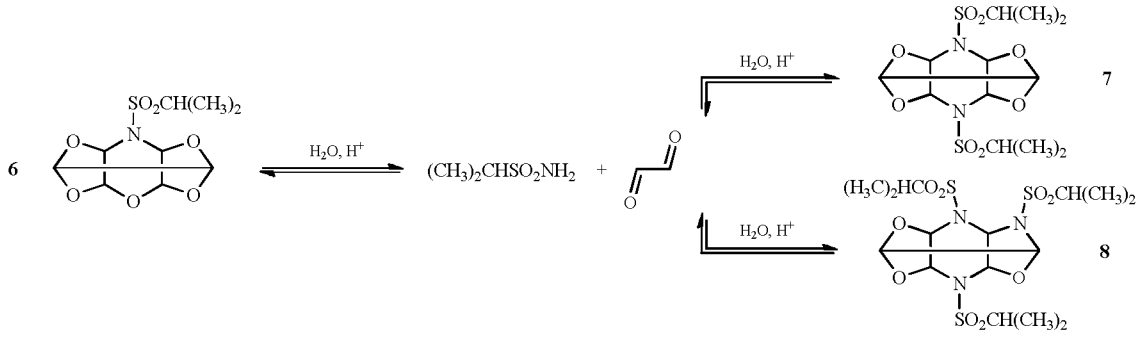
We have obtained 2,6-dioxa-4,8,10,12-tetraazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane-4,8,10,12-tetrasulfonic acid salts (**1**) via condensation of sulfamic acid salts ($MeSO_3NH_2$, Me – alkali metal) with glyoxal.



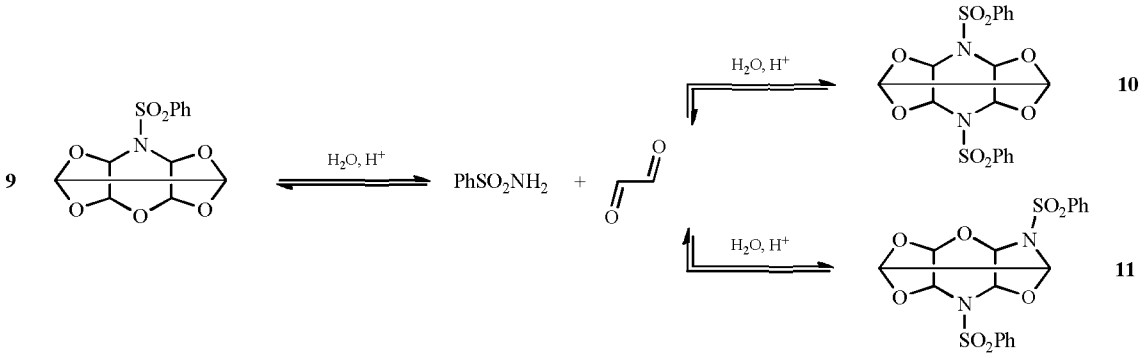
The condensation of methansulfonamide with glyoxal afforded 10-methansulfonyl-2,4,6,8,12-pentaoxa-10-azatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**2**), 4,10-dimethansulfonyl-2,6,8,12-tetraoxa-4,10-diazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**3**), 4,10,12-trimethansulfonyl-2,6,8-trioxa-4,10,12-triazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**4**), and 8,10,12-trimethansulfonyl-2,4,6-trioxa-8,10,12-triazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**5**).



In a similar manner, isopropylsulfonamide and phenylsulfonamide enter into the acid-catalyzed reaction with glyoxal. The condensation between isopropylsulfonamide and glyoxal eventually gave 10-isopropylsulfonyl-2,4,6,8,12-pentaoxa-10-azatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**6**), 4,10-diisopropylsulfonyl-2,6,8,12-tetraoxa-4,10-diazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**7**), and 8,10,12- triisopropylsulfonyl-2,4,6-trioxa-8,10,12-triazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**8**). The respective 2,4,6-trioxa-8,10,12-triazatatracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane derivate could not be obtained. This is likely due to the grown steric hindrances.



The condensation between phenylsulfonamide and glyoxal furnished 10-phenylsulfonyl-2,4,6,8,12-pentaoxa-10-azatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**9**), 4,10-diphenylsulfonyl-2,6,8,12-tetraoxa-4,10- diazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**10**), and 6,10-diphenylsulfonyl-2,4,8,12-tetraoxa-6,10- diazatetracyclo[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]dodecane (**11**). It was also impossible to incorporate more than two aza groups into the oxaazaisowurtzitane cage. It appears to be due to considerably grown steric hindrances induced by the bulky phenyl group on the cage assembling process.



Nitrolysis of the resultant compounds with nitric acid and its mixtures produces a range of cyclic nitramines. A relationship has been shown between physicochemical/detonation characteristics and constitution of the caged nitramines.

The synthesized compounds are of interest as high-energy materials and precursors of drug substances.

References

1. Sysolyatin, S. V., Lobanova, A. A., Chernikova, Yu. T., and Sakovich, G. V. 2005. Methods of synthesis and properties of hexanitrohexaazaisowurtzitane. *Russian Chemical Reviews* 74: 757–764.

2. Sysolyatin, S. V., Lobanova, A. A., Surmachev, V. N., and Chernikova, Y. T. 2004. Proceedings of the International Scientific-Technical Conference "Modern Problems of Technical Chemistry, p. 333–337, December 22–24, Kazan, Russia.
3. Sysolyatin, S. V., Sakovich, G. V., Chernikova, Y. T., Surmachev, V. N., and Lobanova, A.A. 2006. Synthesis of polycyclic nitramines by nitration of condensation products of glyoxal and formaldehyde with sulfamic acid salts. Proceedings of the 37th Annual Conference of ICT, pp. 141/1–141/12, June 27–30, Karlsruhe, Germany.

DOI: 10.17223/9785946215596/4

SYNTHESIS, PROPERTIES OF AlH_3 FOR SPACE PROPULSION

Hervé Graindorge
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
Research Center of Le Bouchet, France

Aluminium hydride or alane (AlH_3) is a very important and fascinating material that draws increasing attention due to its potential uses: (i) as an energetic component in rocket propellants, (ii) as a reducing agent in alkali batteries and (iii) as a possible hydrogen source for low temperature fuel cells. It exhibits a density of 1,48 g cm^{-3}, a volumetric hydrogen capacity of 0,148 g mL^{-1}, that is more than twice as much as that of liquid hydrogen (0,07 g mL^{-1}). Its hydrogen mass capacity slightly exceeds 10 wt.-%.

Moreover, only the pure phase of alane is known to be stable enough to be stored and used. This work aims at developing cheaper methods for alane production while keeping a maximum selectivity towards the formation of α phase. Preparation using a classical organometallic synthesis in ether was implemented. An etherate complex was formed, the ether was removed under vacuum and finally an adequate thermal treatment led to pure α phase of alane as identified by powder X-ray diffraction.

A toluene free synthesis method was implemented and resulted in a cost reduction of 25 %. The stability of the material was characterized through thermal analysis (DTA-TGA). The morphology and purity of the alane were characterized using TEM, SEM and ICP-OES. Alane was synthesized using doping compounds and resulted in a significant increase in the decomposition temperature from *ca.* 160°C to *ca.*174°C.

DOI: 10.17223/9785946215596/5

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДУ

А.С. Жарков, И.И. Анисимов, А.В. Литвинов, Е.А. Чащихин, Н.М. Карманов, Г.П. Коваленко
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Современные направления повышения эффективности перспективных изделий РКТ базируются на разработке новых технологических и конструкторских решений по конструктивному облику твердотопливных элементов (ТЭ), позволяющих в полной мере реализовать ресурс имеющихся высокоэнергетических топливных материалов.

Существующие технологии изготовления ТЭ ограничены использованием сложной извлекаемой технологической оснастки, формирующей конструкции канального типа с продольными и поперечными (зонтик) щелевыми элементами. Реализация таких технологий ограничивает температурный диапазон применения маршевых ТЭ, ограничивает коэффициенты объёмного заполнения ДУ ($K_V \leq 0{,}88 \div 0{,}92$) при одновременном формулировании высоких требований к механическим характеристикам топливных составов.

В последние годы появились новые экономически выгодные технические решения [1–6], основанные на изготовлении ТЭ (рис. 1), разделенных на секции с помощью неизвлекаемых формообразующих элементов (НФЭ). При такой компоновке процесс горения реализуется в зоне канала и по торцевым поверхностям передней и (или) задней секции ТЭ. Особая привлекательность секционных конструкций связана с возможностью обеспечения разгрузки (за счет капсулирования) ТЭ корпусом на этапе длительной эксплуатации.

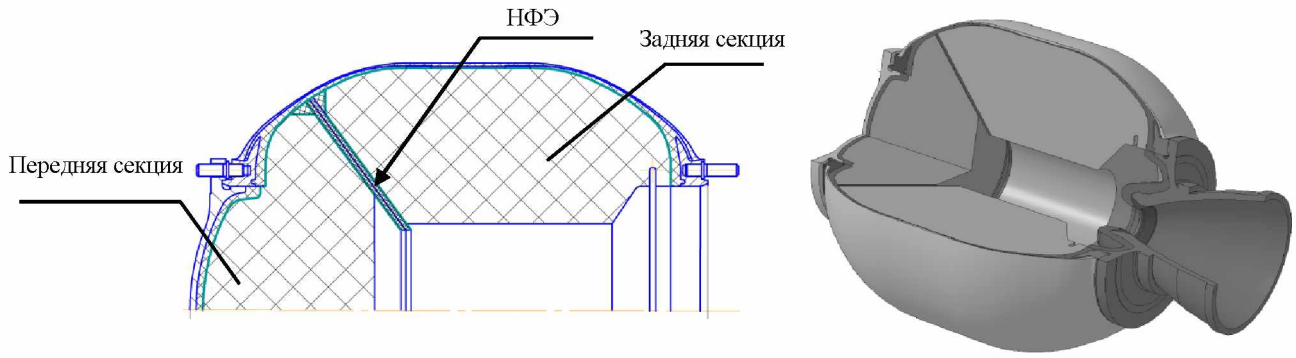


Рис. 1. Конструктивная схема изделия двухсекционного типа
с неизвлекаемым формообразующим элементом

Задача повышения энерговооруженности разрабатываемых изделий решается за счет более рационального размещения материала ТЭ во внутреннем объёме ДУ. Предложенное решение обеспечивает возможность снижения веса ТЗП вследствии реализации максимальной защиты корпуса от воздействия высокотемпературных продуктов работы ДУ, позволяет разгрузить ТЭ от эксплуатационных нагрузок, снизить (в 1,3–1,4 раза) уровень требований к механическим характеристикам ТЭ, обеспечить оптимальный режим работы ДУ. Применение НФЭ и реализация технологии формования ТЭ за один технологический цикл позволяет снизить трудоёмкость и повысить безопасность изготовления ТЭ за счет упрощения фаз сборки, монтажа и распрессовки элементов технологической оснастки. Появляется возможность обеспечения недостижимых ранее параметров весового совершенства ДУ ($K_V = 0{,}95 \div 0{,}97$), значительного расширения температурного диапазона эксплуатации за счет разгрузки ТЭ и устранения щелевых концентраторов напряжений.

Для оценки возможности практической реализации предложенных технических решений была разработана технология изготовления двухсекционного изделия (рис. 1) за один технологический цикл и проведен комплекс эксплуатационных испытаний ТЭ.

Программа экспериментальных исследований включала анализ особенностей механического поведения двухсекционного ТЭ при воздействии температурной нагрузки и внутрикамерного давления. Проведенные испытания подтвердили реализацию нетрадиционно низкого уровня напряженно-деформированного состояния в различных зонах ТЭ при воздействии высокоинтенсивной температурной нагрузки (в том числе при $T_э = -50°C$). Подобное повышение ресурса прочностной работоспособности обеспечено за счет устранения концентраторов напряжений и разделения ТЭ на секции. Это позволяет отказаться от термоконтейнеров при штатной эксплуатации натурных изделий.

При проведении статического наддува экспериментально подтверждено раскрытие межсекционного зазора при давлении $P = 0{,}5–1{,}0$ МПа, гарантирующего штатное воспламенение торцевой поверхности передней (задней) секции ТЭ. Расчетные оценки показали, что воздействие осевых перегрузок также приводит к раскрытию межсекционного зазора, гарантирующего штатную работу ДУ.

Последующее положительное огневое испытание подтвердило работоспособность ТЭ секционного типа с неизвлекаемыми формообразующими элементами. Приоритет и новизна обсуждаемых конструкций ТЭ защищены патентами и изобретениями.

Выводы

Экономически целесообразные направления повышения (на 14–15%) эффективности твердотопливных ДУ могут быть реализованы за счет использования секционных конструкций ТЭ с НФЭ, позволяющих увеличить коэффициент весового совершенства ДУ, максимально защитить корпус от высокотемпературных воздействий и расширить температурный диапазон применения системы ТЭ-корпус.

Литература

1. Ракетный двигатель на твердом топливе. Патент № 2576411 от 25.11.2014 г. Жарков А.С., Литвинов А.В., Вагичев С.Н., Кривенко О.А., Коваленко Г.П., Макарова Н.М., Гусев Т.В., Анисимов И.И.
2. Способ изготовления скрепленного с корпусом заряда смесевого ракетного твердого топлива формованием свободным литьем. Заявка на изобретение (патент) № 2016112245 от 31.03.2016 г. Жарков А.С., Анисимов И.И., Литвинов А.В., Зверева А.А., Горощенко А.Е., Новиков С.А., Тумаков С.Ю., Карманов Н.М., Огородников С.П., Чащихин Е.А., Степанов В.И.
3. Твердотопливный ракетный двигатель. Патент № 2497007 от 27.09.2013 г. Жарков А.С., Литвинов А.В., Кривенко О.А., Коваленко Г.П., Вагичев С.Н., Макарова Н.М., Гусев Т.В.
4. Твердотопливный ракетный двигатель. Патент № 2458244 от 10.08.2012 г. Жарков А.С., Литвинов А.В., Кривенко О.А., Коваленко Г.П., Вагичев С.Н., Макарова Н.М., Гусев Т.В.
5. Твердотопливный ракетный двигатель. Патент № 2397354 от 20.08.2010 г. Жарков А.С., Вагичев С.Н., Кривенко О.А., Коваленко Г.П., Макарова Н.М.
6. Твердотопливный ракетный двигатель. Патент № 2154183 от 10.08.2000 г. Жарков А.С., Жуков А.С., Кривенко О.А., Марьяш В.И., Макарова Н.М., Яскин А.В.

DOI: 10.17223/9785946215596/5

ADVANCED DIRECTIONS TO UPDATE THE SOLID PROPELLANT ELEMENTS OF PS

A.S. Zharkov, I.I. Anisimov, A.V. Litvinov, E.A. Chashchikhin,
N.M. Karmanov, G.P. Kovalenko
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

Modern directions to increase the efficiency of the advanced rocket-space articles are based on the development of new technological and design solutions concerning construction of solid propellant elements (SPE), which enables to implement the available resource of high-energy materials.

The existing manufacturing techniques of SPE are limited by the use of complex removable shape element that forms the channel-type constructions with longitudinal and transverse (umbrella-form) slotted elements. The implementation of such techniques restricts the temperature range of the use of sustainer SPE, limits the propulsion system (PS) volume filling factors ($K_V \leq 0.88 \div 0.92$), meanwhile, forming high requirements to the mechanical characteristics of the propellant compositions.

Recently, the new economically sound techniques [1-6], based on the manufacturing of SPE (Fig. 1), divided into sections by means of nonremovable shape elements (NSE) are developed. This SPE design allows burning process inside the channel zone and along the end surfaces of the front and (or) back SPE section. Special feature of sectional construction is the ability to discharge (due to encapsulation) the SPE by means of case during long-term operation.

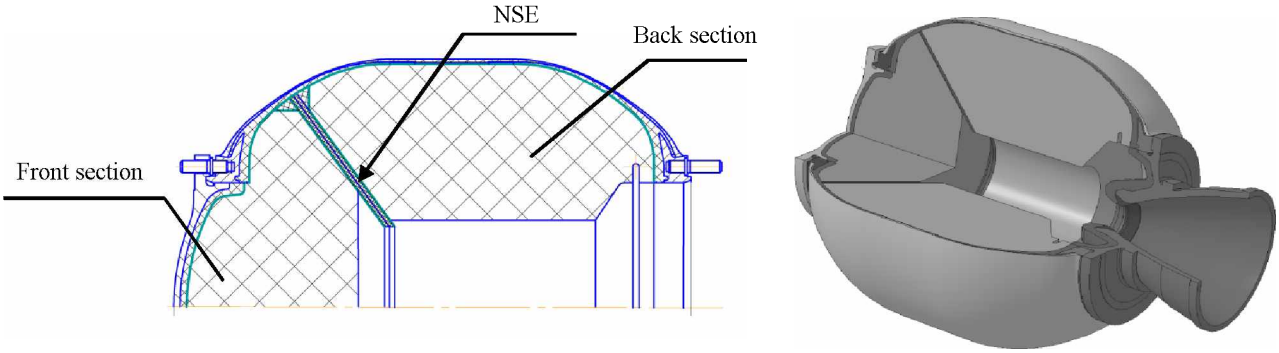


Fig. 1. Construction diagram of the double-section type article with nonremovable shape element (NSE)

The problem of increasing the power of the developed articles is solved due to the most reasonable laying of SPE material inside the PS. The proposed solution provides the ability to reduce the weight of insulation because of maximum protection of the case from exposure of PS high-temperature products. Such construction also helps to relieve the SPE from operational loads, to reduce (1.3-1.4 times) the level of requirements to SPE mechanical characteristics and to provide optimum operation control. The usage of NSE and SPE molding during process cycle reduce the complexity and enhance the SPE manufacturing safety due to the simplifying of assembly and installation phases, as well as the decompression of the tooling elements. Thus, there is a possibility to provide the

unachieved before weight parameters of PS (K_V = 0.95÷0.97), a significant expansion of operation temperature range due to the SPE discharge and clearing of slotted stress concentrators.

Manufacturing technique of double-section article (Fig. 1) during one process cycle was developed to assess feasibility of the proposed technical solutions, and complex of SPE operational tests was conducted.

Experimental studies included the analysis of the peculiarities of the mechanical behavior of double-section SPE when thermal loading and intrachamber pressure. Tests have confirmed the non-traditional low-level stress-strain state in different SPE zones when high-intensive thermal loading (including when T_E=-50 ^{0}C). Such increase of strength efficiency resource was achieved by means of clearing the stress concentrators and separation of SPE into sections. This excludes thermal containers during normal operation of full-scale articles.

When static charging, the intersectional opening of the gap was experimentally confirmed at a pressure of P=0.5-1.0 MPa, providing regular ignition of the end surface of the front (back) SPE section. The calculated assessment showed that the effect of axial overload also leads to the opening of intersectional gap, ensuring PS standard operation.

The next positive firing test confirmed the performance of sectional type SPE with nonremovable shape elements. Priority and novelty of the constructions of SPE are protected by patents and inventions.

Conclusions

Economically reasonable ways of increasing (14-15%) the efficiency of solid propellant PS can be implemented through the use of sectional constructions of SPE with NSE, improving PS weight factor, protecting the body from high-temperature impacts and expanding the temperature range of SPE-case system.

References

1. Solid Rocket Engine. Patent No. 2576411 from 25.11.2014. A.S. Zharkov, A.V. Litvinov, S.N. Vagichev, O.A. Krivenko, P.G. Kovalenko, N.M. Makarova, T.V. Gusev, I.I. Anisimov.
2. Manufacturing Method of Solid Propellant Bonded with Charge Body by Free Casting. The application for the invention (patent) No 2016112245 from 31.03.2016. A.S. Zharkov, I.I. Anisimov, A.V. Litvinov, A.A. Zvereva, A.E. Goroschenko, S.A. Novikov, S.Yu. Tumakov, N.M. Karmanov, S.P. Ogorodnikov, E.A. Chashchikhin, V.I. Stepanov.
3. Solid Rocket Engine. Patent No 2497007 from 27.09.2013. A.S. Zharkov, A.V. Litvinov, O.A. Krivenko, G.P. Kovalenko, S.N. Vagichev, N.M. Makarova, T.V. Gusev.
4. Solid Rocket Engine. Patent No 2458244 from 10.08.2012 A.S. Zharkov, A.V. Litvinov, O.A. Krivenko, G.P. Kovalenko, S.N. Vagichev, N.M. Makarova, T.V. Gusev
5. Solid Rocket Engine. Patent No 2397354 from 20.08.2010. A.S. Zharkov, S.N. Vagichev, O.A. Krivenko, G.P. Kovalenko, N.M. Makarova, T.V. Gusev.
6. Solid Rocket Engine. Patent No 2154183 from 10.08.2000. A.S. Zharkov, A.S. Zhukov, O.A. Krivenko, V.I. Maryash, N.M. Makarova, A.V. Yaskin.

DOI: 10.17223/9785946215596/6

NEW SOLUTIONS FOR FUSE AND CIRCUIT BREAKERS

Gilles GONTHIER
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
Innovative Business, France

Fuses and Circuit Breakers play an important safety role in electrical transportation systems.

Challenging new applications, especially in DC grids, have brought conventional current limiting devices to their limits. Indeed, mechanical circuit breakers may be too slow to open for networks with large DC fault currents.

On the other hand, fuses may be too slow to open with very low DC fault currents.

For AC applications, the natural zero crossing will help clear fault currents. In DC applications, the no natural zero crossing makes clearing faults by conventional current limiting technologies difficult.

This presentation describes a new solution to protect DC transportation using a fuse and pyro-switch hybrid system. This will apply to PV generation, energy storage, Electric Vehicles.

DOI: 10.17223/9785946215596/7

SUCCESSFUL RESEARCH AND DEVELOPMENT OF HYDROXYL AMMONIUM NITRATE THRUSTER

R. Amrousse[1], T. Katsumi[2], K. Hori[1]
[1]Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), Japan
[2]Nagaoka University of Technology, Japan

Topic: 1. Development of HEMs, Their Features, Diagnostics and Combustion

Since 2000, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) is involved in the research and development (R&D) of hydroxylammonium nitrate (HAN)-based liquid monopropellant, SHP163 which is composed of HAN, ammonium nitrate (AN), methanol and water. The thruster employed in the tests is vertical 20 N type which is optimized after several failures. The historical evolution of the thruster development was due to couple of problems that were resolved: i.e. lack of control of the catalyst-bed temperature, heat soak back effect, vertical test thruster setting and lack of knowledge about the chemical reaction of HAN/AN. In this paper, promising SHP163 as green space propellant is synthesized and successively considered as candidate for small satellite missions scheduled by JAXA. In-depth system studies in relation to the aforementioned propulsion, the design for advanced green propulsion systems of the future is appreciated. The obtained results on thruster 20 N type demonstrate that SHP163 is selected to be used as hydrazine alternative monopropellant for innovative satellite technology project in Japan.

In general, HAN based monopropellant consists of HAN, fuel, solvent and some additives. We chose a mixture of HAN, AN, and water as a basic oxidizer, and employed methanol as fuel. The mass ratio of HAN, AN, and water mixture are fixed at 95/5/8, and only methanol content varied. Control

sample does not include methanol and is originally developed as a liquid oxidizer of which the freezing point is below -10°C. SHP163 delivers the highest performance within these compositions because the methanol content of SHP163 is equivalent to stoichiometric ratio against the oxidizer, HAN and AN.

Two categories catalyst shapes were selected for HAN-thruster tests; (i) granular Shell 405 catalyst (S405 catalyst, i.e. 30% Ir/Al_2O_3; 25 μm) and (ii) prepared honeycomb catalysts. Commercial honeycomb supports with 400 and 600 channels per square inch (cpsi) were developed by NGK Company (Nihon Gaishi, Japan).

The 20 N thruster type was previously described [1, 2] and represented in Fig. 1. It was developed by JAXA since 2000.

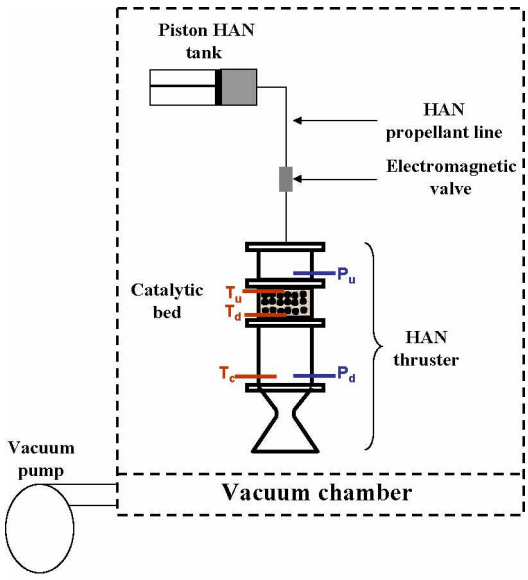


Fig. 1. Scheme of 20 N thruster type

In this paper, we have shed light on SHP163 propellant. Findings from this study suggest that SHP163 propellant developed by JAXA is constantly gaining an augmented interest as alternative propellant candidate for future space applications. JAXA did similar concurrent effort by other worldwide space agencies such as NASA and ECAPS in order to develop a low hazardous and reduced cost alternative to traditional monopropellant systems using hydrazine, with the goal of meeting new requirements for small satellite missions. Recently, HAN 20 N-thruster chamber and corresponding advanced monolith catalysts were developed and considered as the most promising technology to replace the conventional hydrazine in Japan. In fact, HAN-based monopropellant mixture selected to be used in "Innovative Satellite Technology" project which will be launched next year by JAXA.

DOI: 10.17223/9785946215596/8

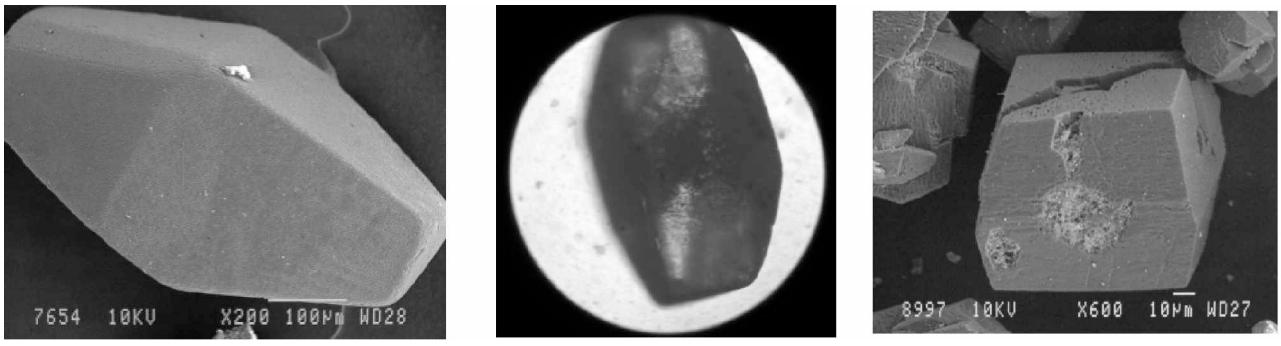
СИНТЕЗ И СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ НИТРАМИНОВ С ВКЛЮЧЕНИЯМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ

Г.В. Теплов, Н.В. Бычин, Ю.А. Пивоваров, В.Н. Попок
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Металлические частицы являются основными горючими элементами многих смесевых энергетических материалов. Процессы их окисления и горения приводят к резкому увеличению объемного удельного импульса.

При компоновке твердых смесевых композиций основной объем заполняют дисперсные кристаллы окислителя (перхлорат аммония, нитрат аммония и др.) и различные энергетические добавки (октоген, гексоген, CL-20 и др.), а частицы металла с высокой концентрацией занимают оставшееся межкристаллическое пространство. Все это приводит к высокому скоплению и тесному контакту частиц металла друг с другом, что и является необходимым условием для развития процессов агломерации, характерных для большинства современных высокоэнергетических СРТТ.

Настоящая работа направлена на создание принципиально нового подхода в решении проблем, связанных с использованием частиц металлов в составах смесевых энергетических материалов. В результате исследований получены кристаллы циклических нитраминов, таких как CL-20 и октоген, с включениями частиц алюминия или оксида железа (III) разного размера. Данный подход позволяет вывести часть активного металла из прямого контакта с жидкими связующими компонентами и тем самым снизить концентрацию металла в межкристаллическом пространстве композиций.



а *б* *в*

Рис. 1. Поверхность кристаллов CL-20 с включениями:
а, б – алюминий марки АСД-6; *в* – алюминий марки ALEX

На примере комплексов CL-20 показано влияние компоновки энергетических составов на их характеристики горения. Развитие данного подхода в модифицировании существующих штатных компонентов СРТТ за счет включения частиц металлов позволит эффективно регули-

ровать основные механические, реологические и баллистические характеристики смесевых материалов, а также решить ряд технологических проблем, возникающих при формовании изделий.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (мол_нр № 15-33-51156 и № 16-33-50120).

DOI: 10.17223/9785946215596/8

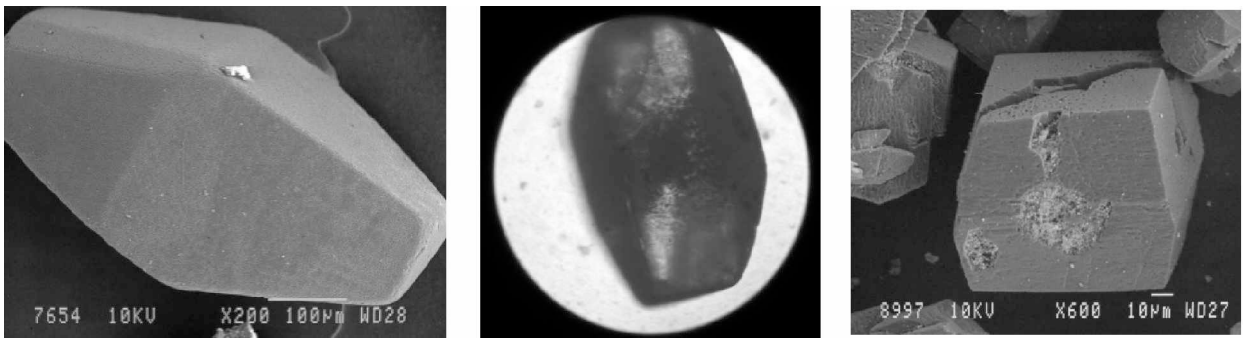
SYNTHESIS AND PROPERTIES OF CYCLIC NITRAMINES CRYSTALS WITH METALLIC PARTICLE INCLUSIONS

G.V. Teplov, N.V. Bychin, Y.A. Pivovarov, V.N. Popok
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

The metal particles are the main elements of many mixed energetic materials. The processes of oxidation and combustion leads to a sharp increase of *volumetric specific impulse.*

In a composite solid propellants the oxidizer (AP, AN, ADNA) and high explosive (RDX, HMX, CL-20 etc.) occupies the major percentage of the weight and volume of the propellant and the metal is located in the void spaces or interstices between the large particles. This arrangement concentrates the metal fuel in a relatively small volume of the propellant. All of this leads to high congestion and close contact with each other metal particles, which is a prerequisite for the development of agglomeration processes common to most modern propellants.

This work aims to create a fundamentally new approach to solve the problems associated with the use of metal particles in composite energetic materials. The studies were directed to obtain crystals of cyclic nitramines such as CL-20 and HMX with inclusions of aluminum or iron oxide (III) particles of different sizes. This approach allows display portion of the active metal in direct contact with liquid binders, thereby reducing the concentration of metal in the compositions intercrystalline space.



a *b* *c*

Fig. 1. The morphology of CL-20 crystals with inclusions: *a, b* – aluminum ASP-6; *c* – aluminum ALEX

As example complexes of CL-20 shows the effect of the layout of power structures on their combustion characteristics. The development of this approach is to modify the existing staff component propellants to include metal particles will effectively regulate the basic mechanical, rheological

and ballistic performance of composite materials, as well as solve a number of technical problems in the molding products.

This work is supported by grant № 15-33-51156 and № 16-33-50120 from the Russian Foundation for Basic Research.

DOI: 10.17223/9785946215596/9

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ ГОРЕНИЯ НИТРОПИРАЗОЛОВ

Н.В. Муравьев[1], А.А. Брагин[1], К.А. Моногаров[1], А.С. Никифорова[1], И.В. Фоменков[2], А.Н. Пивкина[1]

[1]Институт химической физики им. Н.Н. Семёнова Российской академии наук, г. Москва
[2]Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук, г. Москва

Одно из направлений поиска новых высокоэнергетических материалов – синтез и исследование веществ с высоким содержанием азота, среди которых группа полинитрованных пиразолов занимает особое место. В работе исследованы 3,4- и 3,5-динитропиразолы и 5-амино-3,4-динитропиразол (5-АДП). Согласно результатам термодинамического расчета, детонационные параметры 5-АДП близки к гексогену. Чувствительность к удару 5-АДП составила 23±2 Дж, материал практически не чувствителен к трению: при максимальной нагрузке 360 Н наблюдалось только 40% срабатываний. Таким образом, по чувствительности к удару и к трению 5-амино-3,4-динитропиразол занимает промежуточное положение между тротилом и гексогеном. Термическая стабильность синтезированного 5-АДП оценивалась методом ТГА/ДСК анализа. После плавления при 195°С происходит разложение ~40% массы вещества с тепловым эффектом 2400 Дж/г, а максимальная скорость разложения достигается при 209°С. Затем вещество медленно теряет массу, и при 400°С остаточная масса образца составляет 15%. Термическая стабильность 5-АДП, определенная по результатам адиабатической калориметрии, несколько ниже, чем для CL-20. Скорость горения монотоплива 5-амино-3,4-динитропиразола при 7 МПа составляет 14,3 мм/с, что превышает эту величину для октогена 11,3 мм/с при этом показатель степени в законе горения значительно ниже и составляет 0.5. При добавлении перхлората аммония (ПХА) показатель степени в законе горения не изменяется, при этом скорость горения бинарного состава 5-АДП/ПХА превышает эту величину для композиции октоген/ПХА. Проведенный комплекс экспериментов по определению термической стабильности, чувствительности к механическим воздействиям, параметров горения и химической совместимости с известными компонентами ЭКС показал, что это соединение обладает свойствами, позволяющими говорить о его перспективности для современных композиций.

DOI: 10.17223/9785946215596/9

5-AMINO-3,4-DINITROPYRAZOLE: THERMAL STABILITY AND COMBUSTION

N.V. Muravyev[1], A.A. Bragin[1], K.A. Monogarov[1], A.C. Nikiforova[1], I.V. Fomenkov[2], A.N. Pivkina[1]

[1]*N.N. Semenov Institute of Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow*
[2]*N.D.Zelinsky Institute of Organic Chemistry, Russian Academy of Sciences, Moscow*

Novel energetic compound 5-amino-3,4-dinitropyrazole (5-ADP) have been extensively studied. Calculated detonation parameters prove the high energy content in this molecule. Thermal stability has been assessed using various techniques. The onset decomposition temperature of 5-ADP, as has been defined by accelerating rate calorimeter, was found to be lower than that one for CL-20. Compound 5-ADP is insensitive to friction and possesses low impact sensitivity. Chemical compatibility have been evaluated for binary mixtures of 5-ADP with some common energetic materials using standard techniques. Small-scale DSC tests signified some problems with the active binder, whereas the more sensitive ARC technique revealed the reasonable compatibility. Burning rate pressure exponent for 5-amino-3,4-dinitropyrazole monopropellant was found to be 0.5, which is lower than the typical values for explosives (RDX, HMX etc). The addition of ammonium perchlorate resulted in the burning rate increases without change the pressure exponent. The whole set of experimental results reveals 5-amino-3,4-dinitropyrazole to have positive perspectives as an energetic material.

DOI: 10.17223/9785946215596/10

EXPLORING STRUCTURE-PROPERTY RELATIONSHIPS IN ENERGETIC MATERIALS USING EXTREME CONDITIONS AND CRYSTAL ENGINEERING

Pulham Colin

University of Edinburgh, UK

Key properties of energetic materials include reliable performance under a range of environmental conditions, long-term stability, environmental impact, processability, and sensitivity to accidental initiation through stimuli such as impact, shock, friction, and electrostatic discharge. Many of these properties are affected by the crystal structure of the energetic material. Explosives experience elevated pressures and temperatures under detonation conditions – such conditions often induce phase transitions in the energetic material. Hence detailed studies of pressure-induced structural changes in these materials are essential in order to understand and model fully their behaviour. At the same time, there is increasing interest in the use of *co-crystallisation* to modify the properties of energetic materials by altering the intermolecular interactions of energetic molecules in the crystal structure. This presentation will describe some recent high-pressure structural studies on selected high explosives (e.g. dinitroanisole, FOX-7, and TATB) using a combination of X-ray and neutron diffraction techniques. Crystal structures of these materials accessed through pressure- and temperature-induced phase transition, as well as their anisotropic response to pressure, will be correlated with the sensitivi-

ty of these materials to impact and shock. Results will also be presented for a series of salts and co-crystals of nitrotriazolone (NTO) that illustrate how crystal=engineering techniques can be used to modify intermolecular interactions (e.g. hydrogen bonding) such that properties such as density, solubility, and impact sensitivity of these materials can be tailored.

DOI: 10.17223/9785946215596/11

ПРОИЗВОДНЫЕ ГЕКСААЗАИЗОВЮРЦИТАНА В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НОВЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ

С.Г. Крылова[1], Т.Н. Поветьева[1], Е.П. Зуева[1], Е.Н. Амосова[1], Т.Г. Разина[1], О.Ю. Рыбалкина[1], К.А. Лопатина[1], Н.И. Суслов[1], Ю.В. Нестерова[1], С.В. Сысолятин[2], А.И. Калашников[2], В.В. Малыхин[2], А.М. Дыгай[1], В.В. Жданов[1], А.Б. Ворожцов[2], А.С. Жуков[2]

[1]Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга, г. Томск

[2]Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук, г. Бийск

Производные 2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекана (гексаазаизовюрцитана) представляют собой полиазотистые полициклические соединения каркасного строения, обусловливающего их уникальные свойства. Соединения этого ряда впервые были синтезированы в 80-х годах прошлого века, и с тех пор проблема получения различных производных гексаазаизовюрцитана, как перспективного компонента твердых ракетных топлив и композиционных взрывчатых веществ, представляет повышенный интерес в оборонной промышленности. Лишь в последние годы соединения гексаазаизовюрцитанового строения начали рассматриваться с точки зрения применения их в медицине. Интерес к данным соединениям как к потенциальным источникам новых лекарственных средств обсуждается в научно-медицинской литературе, но приоритетные публикации на эту тему есть только у российских ученых. Прогноз спектра биологической активности методом компьютерного моделирования с использованием программного пакета PASS позволил прогнозировать большое число вероятных видов биологической активности модификаций данного вещества на основе его структурной формулы. Согласно произведенных нами расчетов вероятности drug-likeness, производные гексаазаизовюрцитана представляют собой новый класс биологически активных соединений, обладающих разнообразной специфической активностью. Значения расчета вероятности наличия обезболивающего действия drug-likeness для исследуемых соединений гексаазаизовюрцитанового строения находились в диапазоне 50 - 90 %, что говорит о потенциальной возможности создания на основе данных соединений новых фармакологических препаратов с анальгетической активностью.

В ИПХЭТ СО РАН синтезированы молекулы – перспективные кандидаты в лекарственное средство на основе производных 2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекана,

из которых выбрано для дальнейшего исследования соединение 4-(3,4-дибромтио-фенкарбонил)-2,6,8,12-тетраацетил-2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан (тиовюрцин) для создания на его основе конкурентноспособного препарата, обладающего сочетанием фармакологических эффектов, необходимых для проявления выраженной анальгетической активности. Приоритет представленной экспериментальной разработки подтвержден патентом № 2565766 РФ «4-(3,4-дибромтиофенкарбонил)-2,6,8,12-тетраацетил-2,4,6,8,10,12гексаазатетракло [5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекан в качестве анальгетического средства и способ его получения».

В НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга проведены экспериментальные исследования in vivo, в которых выявлено выраженное анальгетическое действие тиовюрцина в батарее поведенческих тестов с различной системой ноцицепции («Горячая пластина», «Брадикининовое воспаление», «Уксусные корчи», «Формалиновое воспаление», «Арахидоновое воспаление» и др.). Полученные результаты свидетельствуют в пользу ингибирующего влияния тиовюрцина на периферические и центральные механизмы развития и поддержания болевого синдрома. Необходимо подчеркнуть, что активность тиовюрцина лишена риска развития побочных эффектов, характерных для анальгетиков центрального действия, поскольку в предварительных экспериментах доказано, что вещество не вызывает лекарственной зависимости, угнетения дыхания. Согласно предварительным результатам исследования острой токсичности тиовюрцин соответствует требованиям 4 класса опасности «вещества малоопасные» (ГОСТ 12.1.007-76 «Вредные вещества»). Курсовое введение тиовюрцина в эффективных дозах не вызывало ульцерогенного повреждения слизистой ЖКТ экспериментальных животных.

Таким образом, по совокупности результатов экспериментальных исследований in vivo тиовюрцин позиционируется в качестве нетоксичного высокоэффективного анальгетического средства, не имеющего аналогов в патентной и научно-медицинской литературе.

Согласно стратегии развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2020 года, необходимо стремиться к увеличению доли продукции отечественного производства в общем объеме потребления на внутреннем рынке и изменению номенклатуры лекарственных препаратов, реализуемых на территории Российской Федерации, в том числе увеличению доли инновационных препаратов. Способность страны разрабатывать собственные лекарства является показателем экономической развитости государства, свидетельством его инновационного пути развития, гарантом безопасности и здоровья нации в целом. Создание собственных субстанций лекарственных веществ позволит улучшить обеспечение лекарственными средствами населения, снизить импортный и повысить экспортный потенциал фармацевтической продукции. Одним из важнейших направлений развития российской фармации является проведение фундаментальных исследований по разработке новых методов направленного синтеза и технологий получения молекул высокоэнергетических веществ и фармакологических исследований с целью изучения взаимосвязи «структура – активность» в ряду этих соединений, как потенциальных кандидатов для создания на их основе субстанций новых высокоэффективных и безопасных лекарственных средств нового поколения.

Перспективным фармакофором для получения на его основе новых молекул с разнообразной заданной активностью является гексаазаизовюрцитан. Производные 2,4,6,8,10,12-гексаазатетрацикло[5,5,0,$0^{3,11}$,$0^{5,9}$]додекана (гексаазаизовюрцитана) представляют собой полиазотистые полициклические соединения каркасного строения, обуславливающего их уникальные свойства. Соединения этого ряда впервые были получены в 80-х годах прошлого века, и с тех пор проблема получения различных производных гексаазаизовюрцитана представляет повышенный интерес во всем мире. Однако до недавнего времени многочисленные исследования, связанные с синтезом производных гексаазаизовюрцитана, носили преимущественно оборонный характер. Лишь в последние годы соединения гексаазаизовюрцитанового строения начали рассматриваться с точки зрения применения их в медицине. Согласно расчетам, производные гексаазаизовюрцитана представляют собой новый класс биологически-активных соединений, обладающих разнообразной специфической активностью. Интерес к данным соединениям, как к потенциальным источникам новых лекарственных средств обсуждается в мире, но пока публикации на эту тему есть только у российских ученых. В настоящий момент уже проанализирован спектр биологической активности широкого круга соединений гексаазаизовюрцитанового строения. Общая потенциальная фармакологическая активность соединений оценивалась с помощью расчёта вероятности drug-likeness. Значения этой вероятности для некоторых соединений превышали 90%, что говорит о потенциальной возможности создания на основе данных соединений фармакологических препаратов.

Для каждого из соединений выполнено определение вероятности наличия фармакологических эффектов, молекулярных механизмов действия и токсичности в диапазоне вероятностей 50–100%. Прогнозирование биологической активности показало наличие широкого спектра вероятных фармакологических эффектов и механизмов действия для ряда соединений в данном диапазоне вероятностей. В результате прогнозирования была выявлена вероятность психотропного действия у, более чем, тридцати соединений, до полусотни соединений могут обладать анксиолититическим эффектом, потенциальными стимуляторами аппетита могут быть более пятидесяти соединений. До сорока соединений могут обладать потенциальной ноотропной активностью, большое количество соединений теоретически могут являться препаратами для лечения болезни Альцгеймера. Кроме того, у ряда соединений отмечается вероятность наличия антинейротоксического действия, способности расширять кровеносные сосуды головного мозга и уменьшать его гипоксию. Следует отметить наличие достаточно высоких вероятностей влияния на механизмы опиоидной и алкогольной зависимости у ряда исследованных соединений. Отмечается вероятность наличия цитопротекторной, иммуномодулирующей и вазопротекторной активности у большинства исследованных каркасных аминов.

У исследованных соединений из семейства каркасных аминов выявлена вероятность гематотоксического эффекта (более тридцати соединений), вероятная способность вызывать гиперхолестеринимию (более тридцати соединений). Также некоторые соединения теоретически могут проявлять гипергликемическое действие, способны вызывать аритмию и быть нейротоксичными.

Таким образом, прогноз спектра биологической активности соединений гексаазаизовюрцитанового строения показал их высокую потенциальную фармакологическую активность, особенно в отношении нервной системы. Их дальнейшее исследование на экспериментальных биологических моделях представляется перспективным.

Многие острые и хронические заболевания, травмы и медицинские вмешательства сопряжены с болью, резко снижающей качество жизни и требующей применения анальгетических средств. Более 90% заболеваний ассоциированы с болью, именно болевой синдром является одной из причин обращения людей за врачебной помощью. По данным экспертов Международной ассоциации по изучению боли около 20% человечества страдает от хронического болевого синдрома в результате низкой эффективности симптоматической терапии хронической боли. Ежедневно свыше 30 млн. людей в мире принимают какой-либо анальгетик. Анальгетики для лечения сильных и очень сильных болей различной этиологии (включая хронические) и антагонисты опиатов представляют собой стратегически важные категории лекарственных средств. По статистике, в России в таких средствах нуждаются десятки миллионов человек. Онкологические больные и люди с диагнозами острого инфаркта миокарда и ишемической болезни сердца, пациенты с различными травмами составляют в год до 13 миллионов. Кроме того, 43 миллиона пациентов переносят операции различной степени сложности. По итогам 1 квартала 2015 года фармацевтический рынок России составил порядка 349 млрд. руб. в ценах конечного потребления, причем анальгетики составили 32% положительного прироста в денежном выражении. Между тем, по оценкам самих анестезиологов и экспертов-аналитиков российского фармрынка медицинские потребности в противоболевых препаратах нового поколения (усовершенствованные опиоиды, комбинированные анальгетики и др.) обеспечены не более чем на 10%. Несомненно, Российская федерация должна производить современные лекарственные средства данных фармакологических групп в широком ассортименте, причем обязательно в разнообразных лекарственных формах. Для бесперебойного обеспечения системы здравоохранения этими препаратами необходимо иметь на своей территории производство соответствующих субстанций.

Существенным отличием инновационных веществ – производных гексаазаизовюрцитана является реализация полного цикла их разработки, начиная с компьютерного прогнозирования, и дальнейшего использования передовых научно-исследовательских подходов и технологических решений.

ИПХЭТ СО РАН совместно с НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга занимается разработкой методов направленного синтеза, изучением фармакологии новых биологически активных соединений, которые могут послужить основой для создания инновационных лекарственных препаратов и эффективных технологий их получения.

DOI: 10.17223/9785946215596/11

DERIVATIVES OF HEXAAZAISOWURTZITANE AS POTENTIAL SOURCES OF NEW REMEDIES

S.G. Krylova[1], T.N. Povet'eva[1], E.P. Zueva[1], E.N. Amosova[1], T.G. Razina[1], O.Yu. Rybalkina[1], K.A. Lopatina[1], N.I. Suslov[1], Yu.V. Nesterova[1], O.G. Afanas'eva[1], S.V. Sysolyatin[2], A.I. Kalashnikov[2], V.V. Malykhin[2], A.M. Dygai[1], V.V. Zhdanov[1], A.B. Vorozhtsov[2], A.S. Zhukov[2]

[1]E.D. Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk
[2]Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk

Derivatives of 2,4,6,8,10,12-hexaazatetracyclo[5,5,0,03,11,05,9]dodecane (hexaazaisowurtzitane) represent polinitrogenous polycyclic compounds of the skeleton structure, contributing to their unique properties. Compounds of this series were first synthesized in 80-ies of the last century, and since then, the problem of obtaining various derivatives of hexaazaisowurtzitane as a promising component of solid rocket fuel and composite explosives is heightened interest in the defense industry. Connections of hexaazaisowurtzitane structure began to be considered from the point of view of their application in medicine only in recent years. The interest in these compounds as potential sources of new drugs-funds is discussed in the scientific and medical literature, but the priority publications on this topic is only for the Russian scientists. Prediction of biological activity spectra by computer simulation using the software package PASS allowed us to predict a large number of probable types of biological activity of modifications of a given substance based on its structural formula. Derivatives of hexaazaisowurtzitane represent a new class of biologically active compounds possessing diverse specific activity, as per our calculations the probability of drug-likeness. The probabilities of the anesthetic drug-likeness for the studied compounds hexaazaisowurtzitane of the structure were in the range of 50 – 90 %. This factor indicates the potential for establishment of data connections of new pharmacological drugs with analgesic activity.

In the Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies synthesized molecules promising candidates for a drug on the basis of the derivatives of 2,4,6,8,10,12-hexaazatetracyclo[5,5,0,03,11,05,9]dodecane. Compound 4-(3,4-dibromofuran)-2,6,8,12-tetraacetyl-2,4,6,8,10,12-hexaazatetracyclo[5,5,0,03,11,05,9]dodecane (thiowurtzine) selected for further research to create on its basis of competitive drug that has a combination of pharmacological effects that are necessary for the manifestation of a pronounced analgesic activity. The priority of this experimental design confirmed by patent №2565766 RF «4-(3,4-dibromofuran)-2,6,8,12-tetraacetyl-2,4,6,8,10,12hexaazatetracyclo[5,5,0,03,11,05,9]dodecane as analgesics, and method for its production".

In the E. D. Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine for experimental studies in vivo, which showed pronounced analgesic effects of thiowurtzine in a battery of behavioral tests with different system of nociception ("Hot plate", "Bradykinin-induced inflammation", "Abdominal constriction test", "Formalin-induced inflammation", "Arachidonic acid-induced

inflammation", etc.). The data were spoken in favor of thiowurtzine inhibitory effect on peripheral and central mechanisms of development and maintenance of pain. It must be emphasized that the activity of thiowurtzine devoid of the risk of side effects typical for analgesics of central action, as in the preliminary experiments proved that the substance does not cause drug dependence, respiratory depression. Thiowurtzine meets the requirements of hazard class 4 "low hazard substances" (GOST 12.1.007-76 "Harmful substances"), according to the preliminary results of studies of acute toxicity. Course introduction of thiowurtzine in effective doses did not cause ulcerogenic damage of the gastrointestinal mucosa of experimental animals.

Thus, thiowurtzine is positioned as non-toxic highly effective analgetic, which have no analogues in the patent and scientific and medical literature, the aggregated results of experimental studies in vivo.

DOI: 10.17223/9785946215596/12

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ АЛЮМИНИЗИРОВАННОГО ТОПЛИВА В СОПЛЕ РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А.Б. Ворожцов, Н.Н. Дьяченко, Л. Де Лука

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
Миланский политехнический университет, г. Милан

В работе изучается влияние наличия наночастиц алюминия в продуктах сгорания на энергетические характеристики твердотопливного ракетного двигателя.

.Продукты сгорания твердого ракетного топлива представляют смесь газа и полидисперсного ансамбля частиц конденсата. Конденсированная фаза представляет ансамбль жидких частиц оксида алюминия, распределение которых по размерам подчиняется логарифмически-нормальному закону. Течение в сопле сопровождается коагуляцией и дроблением частиц. Система уравнений для газо-капельной среды записывается в рамках модели взаимопроникающих многоскоростных и многотемпературных сплошных сред. При описании взаимодействия частиц друг с другом используется непрерывный подход.

Для численного интегрирования системы уравнений газа использовался стационарный аналог нецентральной конечно-разностной схемы Мак-Кормака, второго порядка точности. Интегрирование системы уравнений фракции частиц осуществлялось с помощью неявной разностной схемы, имеющей также второй порядок точности.

Результаты расчётов изменения среднемассового размера частиц конденсата вдоль сопла показали прямую зависимость размера частиц на срезе сопла от их размера на входе. Как следствие, двухфазные потери за счёт неравновесности потока при использовании наноразмерных порошков алюминия значительно ниже, чем при использовании регулярных порошков, а удельный импульс РДТТ в целом может возрасти до 1%.

DOI: 10.17223/9785946215596/12

STUDYING THE FLOW OF ALUMINIZED FUEL COMBUSTION PRODUCTS IN A ROCKET ENGINE NOZZLE

A. Vorozhtsov, N. Dyachenko, L. DeLuca
National Research Tomsk State University, Tomsk
Politecnico di Milano, Milan

In the paper influence of presence Al nanoparticles in combustion products on energetic parameters of solid rocket motor is investigated. For modelling the system of quasionedimensional system of gas dynamic equation is used. The processes of coagulation, crushing, crystallization of particles are take into account for modelling of processes. The dependences of two-phase losses and changes of specific impulce from averaged size of Al oxide on the entrance of nozzle are analyzed. It is shown that the use of Al nanoparticles as fuel in the solid propellant can increase specific impulse for 0.5–1%.

DOI: 10.17223/9785946215596/13

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ КОМПОЗИТОВ ТЭНА С ВКЛЮЧЕНИЯМИ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ МЕТАЛЛОВ

Б.П. Адуев, Д.Р. Нурмухаметов, И.Ю. Лисков, А.А. Звеков, А.П. Никитин
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово

В плане решения прикладных задач представляет интерес использование лазерного инициирования взрывчатых веществ (ВВ). В связи с этим актуальна разработка светочувствительных композиций с регулируемыми параметрами при данном способе инициирования.

Исследование композитов на основе тетранитропентаэритрита (тэна) с включениями материалов ультрадисперсных размеров получило развитие в наших предыдущих работах [1–6]. Экспериментально и теоретически показано, что порог лазерного инициирования исследованных композитных материалов зависит от ряда факторов: длины волны излучения, типа и концентрации включений, размеров включений при фиксированной концентрации. Показано, что поглощение излучения происходит непосредственно включениями [5, 6], что должно приводить к их нагреву до высоких температур.

Целью настоящей работы является обобщение экспериментальных и теоретических результатов, позволяющих выявить факторы, обуславливающие минимальный порог лазерного инициирования тэна с включениями частиц алюминия (100 нм) и железа (75 нм).

Использовался порошок тэна с размерами зерен 1-2 мкм. В качестве добавок использовали порошок алюминия, как и в работах [1, 3, 5], со средним размером частиц 100–120 нм и порошок железа со средним размером частиц 75 нм.

Образцы тэна с включениями изготавливались методом прессования. Методика приготовления образцов с различным содержанием включений подробно описана в работах [1, 4].

Образцы прессовались в медной пластине толщиной 1 мм, в центре которой имелось отверстие диаметром 3 мм. В экспериментах использовались образцы плотностью $\rho = 1.73 \pm 0.03$ г/см^3.

В качестве источника инициирования использовался YAG:Nd^{3+} лазер, работающий в режиме модулированной добротности на основной частоте (1064 нм) и на частоте второй гармоники (532 нм) с длительностью импульса на половине амплитуды 14 нс.

Исследовались зависимости вероятности взрыва от плотности энергии импульса лазера. Облучаемая поверхность накрывалась оптическим стеклом толщиной 1 мм, затрудняющим газодинамическую разгрузку зоны повышенного давления.

Получены зависимости критической плотности энергии, соответствующей 50% вероятности инициирования H_{cr} для тэна от массового процента добавок n наночастиц алюминия и железа при воздействии лазерных импульсов.

Показано, что H_{cr} не монотонно зависит от концентрации включений n. Критическая плотность энергии уменьшается при росте линейного показателя поглощения. Однако при увеличении концентрации включений выше оптимальной (соответствует минимальной H_{cr}), тенденция меняется на противоположную. Увеличение показателя поглощения ведет к увеличению H_{cr}. Подобный результат наблюдался на всех исследованных композитных материалах и пока не получил однозначной интерпретации.

Проведено измерение амплитуды давления акустических волн, распространяющихся из нагретого слоя к тыльной поверхности, с помощью пьезодетектора, с целью установления характера концентрационной зависимости для амплитуды давления акустических волн, фиксируемых пьезодетектором. В этом случае образцы находились в акустическом контакте с пьезопреобразователем на основе керамики ЦТС-19. Плотность энергии в импульсе на поверхности образцов составляла величину 0.05–0.1 Дж/см^2, что достаточно для регистрации сигнала с пьезопреобразователя и не вызывало повреждение образца.

Результаты экспериментов показали, что амплитуда оптоакустического сигнала возрастает до максимального значения при увеличении концентрации включений до оптимального значения. При дальнейшем увеличении концентрации включений амплитуда давления падает.

Проведены расчеты зависимости амплитуды давления, возникающего при воздействии на вещество с теплофизическими параметрами тэна лазерных импульсов с длительностью 14 нс при варьировании показателя поглощения излучения.

Полученные в работе экспериментальные и теоретические данные свидетельствуют о том, что лазерное инициирование композитов не сводится только к нагреву образца до температуры вспышки, но следует включать в рассмотрение и увеличение давления в нагретом слое и связанные с ним ударно-волновые процессы.

Литература

1. Адуев Б.П., Белокуров Г.М., Нурмухаметов Д.Р., Нелюбина Н.В. // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, № 3. С. 127–132.

2. Кригер В.Г., Каленский А.В., Звеков А.А., Зыков И.Ю., Адуев Б.П. // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, № 6. С. 54–58.
3. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Фурега Р.И., Звеков А.А., Каленский А.В. // Химическая физика. 2013. Т. 32, № 8. С. 39–42.
4. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Ципилев В.П., Фурега Р.И. // Физика горения и взрыва. 2013. Т. 49, № 2. С. 102–105.
5. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Фурега Р.И., Звеков А.А. // Химическая физика. 2014. Т. 33, № 6. С. 37–41.
6. Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Белокуров Г.М., Звеков А.А., Каленский А.В., Никитин А.П., Лисков И.Ю. // Журнал технической физики. 2014. Т. 84, № 9. С. 126–131.

DOI: 10.17223/9785946215596/13

FEATURES LASER INITIATION OF PETN COMPOSITES WITH INCLUSIONS OF ULTRAFINE METAL PARTICLES

B.P. Aduev, D.R. Nurmukhametov, I.Yu Liskov, A.A. Zvekov, A.P. Nikitin
The Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, Kemerovo

In terms of solving applied problems of interest to the use of laser initiation of explosives (explosives). In this regard, the development of photosensitive topical compositions with adjustable parameters in this method of initiation.

Study based on composites tetranitropentaeritrita (PETN) with inclusions of materials ultrafine size was developed in our previous papers [1–6]. Both theoretically and experimentally shown that laser initiation threshold composites studied depends on several factors: the wavelength of the radiation, the type and concentration of the inclusions, inclusion size at a fixed concentration. It is shown that the radiation is absorbed directly inclusions [5, 6], which should lead to them to high temperatures.

The purpose of this paper is to summarize the experimental and theoretical results, allowing to identify the factors that cause the minimum threshold of laser initiation of PETN with inclusions of aluminum particles (100 nm) and iron (75 nm).

PETN was used a powder with a grain size of 1–2 microns. The additives used aluminum powder as in [1, 3, 5] having an average particle size of 100–120 nm and an iron powder with an average particle size of 75 nm.

Samples of PETN with inclusions were made by pressing. Methods of preparation of the samples with different content of the inclusions is described in detail in [1, 4]. Samples were pressed into the copper plate 1 mm thick, in the center of which there was a hole with a diameter of 3 mm. In the experiments, samples were used density $\rho = 1.73 \pm 0.03$ g/cm^3.

As a source of initiation used YAG: Nd^{3+} laser operating in Q-switched mode at the fundamental frequency (1064 nm) and on the frequency of the second harmonic (532 nm) with a pulse duration at half amplitude of 14 ns.

We investigated the dependence of the probability of the explosion on the density of the laser pulse energy. Irradiated surface covering the optical glass 1 mm thick, impairing gas-dynamic unloading of high-pressure zone.

The dependence of the critical energy density corresponding to 50% probability of initiation H_{cr} for PETN by weight percent additives n aluminum and iron nanoparticles when exposed to laser pulses.

It is shown that not Hcr monotonically dependent on the concentration n inclusions. The critical energy density decreases with an increase in the linear absorption coefficient. However, when the concentration of impurities higher than the optimum (minimum corresponds H_{cr}), the trend is reversed. The increase in the absorption coefficient increases H_{cr}. A similar result was observed in all the investigated composite materials and has not yet received an unambiguous interpretation.

A measurement of the amplitude of the acoustic pressure waves that propagate from the heated layer to the back surface by piezoelectric transducer, in order to establish the nature of the concentration dependence of acoustic pressure waves amplitude latched piezoelectric transducer. In this case the samples are in acoustic contact with a ceramic piezoelectric transducer ZEC-19. The energy density per pulse on the surface of the samples was the amount of 0.05-0.1 J/cm^2, which is sufficient for a registration signal to the piezoelectric transducer and the sample did not cause damage.

Experimental results have shown that the amplitude of the photoacoustic signal is increased to a maximum value when the concentration of impurities to the optimum value. With further increase in the concentration of inclusions pressure amplitude decreases.

Calculations based pressure amplitude, which occurs under the influence of a substance with thermal parameters PETN laser pulses with a duration of 14 ns at a variation of the radiation absorption coefficient.

The results obtained in the experimental and theoretical data suggest that laser initiation of composites is not limited to heating the sample up to the flash point, but should include consideration and increasing the pressure in the heated bed and associated shock wave processes.

References

1. Aduev B.P., Belokurov G.M., Nurmukhametov D.R., Neljubina N.V. // Fizika gorenija i vzryva. 2012. V. 48, No. 3. S. 127–132.
2. Kriger V.G., Kalenskij A.V., Zvekov A.A., Zykov I.Ju., Aduev B.P. // Fizika gorenija i vzryva. 2012. V. 48, No. 6. S. 54–58.
3. Aduev B.P., Nurmukhametov D.R., Furega R.I., Zvekov A.A., Kalenskij A.V. // Himicheskaja fizika. 2013. V. 32, No. 8. S. 39–42.
4. Aduev B.P., Nurmukhametov D.R., Cipilev V.P., Furega R.I. // Fizika gorenija i vzryva. 2013. V. 49, No. 2. S. 102–105.
5. Aduev B.P., Nurmukhametov D.R., Furega R.I., Zvekov A.A. // Khimicheskaja fizika. 2014. V. 33, No. 6. S. 37–41.
6. Aduev B.P., Nurmukhametov D.R., Belokurov G.M., Zvekov A.A., Kalenskij A.V., Nikitin A.P., Liskov I.Ju. // Zhurnal tehnicheskoj fiziki. 2014. V. 84, No. 9. S. 126–131.

DOI: 10.17223/9785946215596/14

ТЕРМОХИМИЯ И МЕХАНИЗМЫ ТЕРМОЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ДАННЫМ ВЫСОКОТОЧНЫХ КВАНТОВОХИМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В.Г. Киселев[1, 2, 3], Н.В. Муравьев[3], К.А. Моногаров[3], А.Н. Пивкина[3]

[1]Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск
[2]Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск
[3]Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г. Москва

Представленная работа посвящена изучению термохимии и механизмов термического разложения энергетических материалов (ЭМ) с помощью разработанного авторами подхода, состоящего в комбинации высокоточных квантовохимических расчетов и современных методов термического анализа (например, ДСК и ТГА). Приведены два примера применения такого подхода: (1) для получения надежных значений энтальпий образования энергетических материалов в твердой фазе используется комбинация газофазной энтальпии образования, рассчитанной квантовохимически, и энтальпия сублимации, полученная из термогравиметрических экспериментов при сублимации в вакуум. Таким способом уточнена энтальпия образования нового низкочувствительного энергетического соединения FOX-7, а также получены не известные ранее энтальпии образования для ряда нитроэфиров и гетероциклов.

На примере нового окислителя тетранитроацетимидной кислоты (ТНАК) показано применение подхода к изучению механизма термолиза ЭМ. Экспериментальные методы ДСК и ТГА при различных внешних условиях (нормальное/повышенное давление/вакуум) позволили определить кинетическую схему и получить кинетические параметры глобального процесса термолиза ТНАК. В свою очередь, расчеты показали важную роль таутомерных равновесий в механизме термолиза ТНАК, и позволили определить наиболее важные кинетически интермедиаты и механизм первичных стадий разложения.

DOI: 10.17223/9785946215596/14

INTERPLAY OF HIGHLY ACCURATE QUANTUM CHEMICAL COMPUTATIONS AND THERMAL ANALYSIS TECHNIQUES IN THE STUDY OF THERMOCHEMISTRY AND DECOMPOSITION MECHANISMS OF ENERGETIC MATERIALS

V.G. Kiselev[1, 2, 3], N.V. Muravyev[3], K.A. Monogarov[3], A.N. Pivkina[3]

[1]Novosibirsk State University, Novosibirsk
[2]Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk
[3]Semenov Institute of Chemical Physics RAS, Moscow

Thermochemistry, kinetics, and mechanism of thermal decomposition of energetic materials (EM) are crucial for understanding their performance, compatibility, and storage properties. However, the direct experimental measurements of both thermochemistry and kinetics are often hindered by very complex nature of numerous fast physical and chemical processes simultaneously occurring dur-

ing thermal decomposition of high-energy species. Modern highly accurate quantum chemical calculations are very powerful and promising complementary tool to experiment for the determination of thermodynamics, rate constants of elementary reactions, and chemical mechanism of thermolysis. In the present contribution, we show two typical applications of quantum chemistry in combination with experimental thermal analysis techniques for particular problems of thermochemistry and kinetics of EM.

First, we proposed the convenient and facile procedure to determine thermochemistry of EM, viz., the solid-state formation enthalpies. The latter values are obtained as combinations of theoretically calculated gas-phase formation enthalpies and sublimation enthalpies extracted from thermogravimetric (TGA) experiments with the aid of the Langmuir equation. The highly accurate quantum chemical methods allow for the mean accuracy comparable to experimental one (~1-2 kcal/mol). In turn, the mass loss measurements are performed under vacuum conditions to avoid thermal decomposition of EM. Comparison with available combustion calorimetry values for well-studied high-energy species justifies the high accuracy of our procedure. With the aid of this technique, we resolved the existing discrepancies in the formation enthalpies of several important EM (e.g., FOX-7) and proposed the lacking values for a series of energetic nitroesters and heterocyclic species.

Quantum chemical calculations are also a very convenient tool for understanding the detailed chemical mechanism of thermolysis of EM. As a typical example, we studied thermal decomposition of tetranitroacetimidic acid (TNAA), a new chlorine-free oxidizer first reported in 2014. TGA and differential scanning calorimetry (DSC) experimental techniques at atmospheric, vacuum, and elevated pressures were used to obtain kinetics of the whole decomposition process. Computations, in turn, allowed for understanding tiny details of mechanism: viz., the important role of tautomeric equilibria was revealed, and several closely lying radical (C-NO_2 bond scission) and molecular (N_2O elimination) channels occurring in various tautomers turned out to be dominating primary decomposition reactions. The theoretically predicted activation energies (~39 kcal/mol) are in perfect agreement with experimental values.

СЕКЦИЯ 2

Председатели: A. Cumming, A.B. Литвинов,
V. Gettwert, A.A. Глазунов, K. Hori, О.Г. Глотов

2nd SESSION

Co-chairs: A. Cumming, A.V. Litvinov, V. Gettwert,
A.A. Glazunov, K. Hori, O.G. Glotov

DOI: 10.17223/9785946215596/15

PREDICTION OF REGULATION TOXICOLOGICAL TESTS APPLIED TO HIGH ENERGY MOLECULES

JA Chemelle[1], C. Alliod[1], G. Jacob[2], R. Terreux[1]

[1]PRABI-LG / Laboratoire de Biologie Tissulaire et d'Ingénierie (LBTI)
Université Lyon 1. Institut de Biologie et Chimie des Protéines (IBCP)
[2]Centre de Recherches ASL, FRANCE

In collaboration with Airbus Safran Launchers Company (ASL), a research program was set up to have, in the future, optimized tools for predicting the toxicity of High-Energy Molecules (HEM). The European Union has adopted a legislation named REACh about chemical to ensure a high level of protection of human health and environment and to encourage the use, in priority, of alternative research methods such as cellular tests and predictive methods. A number of in vitro and in vivo test systems have been developed to study the effects of chemicals on cells. Because of the number of mutagenicity tests commonly use, a variety of internationally agreed testing protocols on chemicals appeared, described by REACh and OECD test guidelines. In this study, the resources came from the European Commission in-house service from the Joint Research Center (JRC) which structured its information according to OECD validation principles. Several methods can be used to predict toxicity such as Quantitative Structure Activity Relationship (QSAR). In this study, we want to compare predictions of QSAR and "on-the-fly" QSAR (OTF-QSAR). Two databases were used. The first contains molecules experimental data for different mutagenicity tests from JRC and the second contains 54 HEM from ASL among which some are experimentally known from the literature for the different tests. The two QSAR approaches were done with the first database as the training set. There are two validations methods: by Leave-On-Out (LOO) on the training set and especially by the prediction of the ASL known molecules. The difference for the OTF-QSAR is that the training set was a subset of the molecules selected by various degree of similarity close to the HEM database. The Tanimoto coefficient (T) has been used as the molecular similarity selection tool. Thus we obtained a database structurally similar to the HEM database and composed of diverse compounds. It was found that the OTF-QSAR predictions were more accurate and increased the efficiency of predictions. The precision increases as the degree of similarity increased and the more the similarity measure increased, the more the system made a good prediction. At the end of the study, we validate the OTF-QSAR on HEM molecules evaluate the reliability of the on-the-fly QSAR prediction and similarity information.

DOI: 10.17223/9785946215596/16

МЕХАНОХИМИЧЕСКИЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ДЕТОНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ АЛЮМИНИЗИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ

А.Ю. Долгобородов[1, 2, 3], А.А. Шевченко[1, 2], В.Г. Кириленко[1], М.А. Бражников[1]

[1]Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, г. Москва

[2]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

[3]Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, г. Москва

Параметры детонации алюминизированных взрывчатых составов с существенной мере зависят от размера частиц Al и способа приготовления. Результаты сравнительных исследований детонации составов, содержащих порошки Al с различными размерами (от нескольких десятков нанометров до десятков микрон) хорошо известны (см., например, [1–3]). Наибольшее увеличение параметров детонации при добавлении наноразмерных частиц nAl наблюдается для составов на основе ВВ с достаточно большим критическим диаметром (ТНТ, АДН, нитрогуанидин и др.). Также отмечено значительное влияние способа смешения частиц nAl с частицами ВВ. При простом механическом перемешивании nAl с микронными частицами ВВ основная часть nAl образует конгломераты микронных размеров между ВВ, и преимущества высокой удельной поверхности наночастиц не реализуется в полной мере. Для увеличения удельной поверхности контакта компонентов составов может быть использован метод предварительной обработки в механохимических активаторах (см. обзор [4]). В данной работе способ механохимической активации использован для повышения детонационной способности составов Al/ПХА на основе перхлората аммония и Al различных размеров. Для приготовления смесей использовались порошки ПХА (20 ÷ 50 мкм) и порошки Al – пудра ПП-2 (чешуйки 100÷200*1÷2 мкм), Alex (150 ÷ 200 нм), nAl (100 нм). Смешение и активация компонентов проводилась в планетарной мельнице «Активатор-2SL» в жидкой среде (гексане) со временем активации от 0,5 до 40 мин. Полученные образцы анализировались с помощью электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, термогравиметрии и измерений скорости горения. По результатам анализа оптимальное время активации t_a = 10 мин, при этом достигается наибольшая гомогенность перемешивания смеси и скорость горения. Экспериментально изучен процесс при перехода горения во взрыв в низкоплотных образцах, получены зависимости скорости детонации от плотности и диаметра прессованных зарядов при относительной плотности $\Delta = 0{,}5 \div 0{,}95$. Максимальные параметры детонации получены при соотношении компонентов Al/ПХА 20/80.

Составы на основе ПХА в соответствии с принятой классификацией принадлежат к ВВ группы II. Зависимость скорости детонации от плотности для таких ВВ имеет возрастающий характер до достижения определенной плотности и затем падает с переходом в затухающий режим ($D(\Delta)$-зависимость имеет максимум D_m). В наших экспериментах (заряды диаметром d = 25 мм) для механической смеси из микронных частиц получено D_m = 4,3 км/с при $\Delta \sim 0{,}70$. Активация смеси на основе микронного Al(ПП-2) при t_a = 10 мин позволила сместить максимум до D_m = 4,8 км/с при $\Delta \sim 0{,}75$. Для nAl при t_a = 1 мин D_m = 5,3 км/с при $\Delta \sim 0{,}83$, а дополни-

тельная активация t_a = 10 мин позволила достигнуть D_m = 6,12 км/с при Δ ~ 0,91. С увеличением d до 50 мм для смесей на основе Al(ПП-2) зависимость $D(1/d)$ имеет монотонно взрастающий характер, однако для nAl/ПХА при d = 20 ÷ 40 мм D практически постоянна ("псевдоидеальная" детонация). Критический диаметр для nAl/ПХА составляет менее 10 мм.

В целом результаты работы показали, что использование наноразмерных компонентов совместно с механохимической активацией позволяет регулировать детонационную способность взрывчатых смесей окислитель-горючее. Для смесей ПХА + Al на основе nAl удается сместить максимум по скорости детонации в область существенно бóльших значений плотности заряжания по сравнению со смесями на основе Al микронного размера.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № I.13П «Теплофизика высоких плотностей энергии» и проекта РФФИ № 16-29-01030.

Литература

1. Гогуля М.Ф., Махов М.Н., Долгобородов А.Ю. и др. // ФГВ. 2004. Т. 40, № 4. С. 82–95.
2. Гогуля М.Ф., Махов М.Н., Бражников М.А. и др. // ФГВ. 2008. Т. 44, № 2. С. 85–100.
3. Brousseau P., Dorsett H.E., Cliff M.D. et al. // 12 Intern. Det. Symp. 2002. P. 193–103.
4. Долгобородов А.Ю. // ФГВ. 2015. Т. 51, № 1. С. 102–116.

DOI: 10.17223/9785946215596/16

MECHANOCHEMICAL METHOD OF INCREASING THE DETONATION ABILITY OF ALUMINIZED EXPLOSIVE COMPOSITIONS

A.Yu. Dolgoborodov[1, 2, 3], A.A. Shevchenko[1, 2], V.G. Kirilenko[1], M.A. Brazhnikov[1]
[1]ICP RAS, Moscow
[2]NRNU MEPHI, Moscow
[3]JIHT RAS, Moscow

Method of mechanochemical activation was used to increase the detonation ability of compositions based on mixtures of ammonium perchlorate AP with micron sized μAl and nano sized aluminum nAl. The optimum conditions of mechanical activation of mixtures were found so that the maximum homogenization of the mixture was provided in the absence of the reaction between reagents. Mixing and activation of components was carried out in a planetary mill "Activator -2sl» with steel balls and drums with water cooling. The activation time ranged from 0.5 to 40 min. Analysis by X-ray diffraction and electron microscopy showed that under selected processing conditions, grinding and mixing occurs without the chemical reaction. According to the analysis of optimal activation time = 10 min, while achieving maximum homogeneity of mixing and rate of combustion. The detonation properties of explosive charges derived from a mechanically activated mixtures have been studied. The dependences of detonation velocity on the activation time, density and diameter of charges were obtained. The results showed that, the detonation ability of formulations can be substantially enhanced

in comparison with conventional mechanical mixtures containing μAl. The activation and nAl sharing has allowed to lower critical diameter (<10 mm) and to displace a maximum of detonation velocity in area of high density charges (from 1.46 to 1.9 g/cc with a diameter of 25 mm). The maximum detonation velocity = 6410 m/s of the composition with nAl was obtained with a relative density of 0.91 and a diameter of 40 mm.

DOI: 10.17223/9785946215596/17

STRUCTURE/PROPERTIES RELATIONSHIPS OF ENERGETIC SOLID COMPOUNDS: IMPACT OF CRYSTALLIZATION

Guy JACOB
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
Research Center of Le Bouchet, France

It has been known for a long time that morphology of granular fillers is a requirement for achieving high content of energetic compounds in composite materials (propellants, explosives, gun propellants) and also to lead to operational properties (burning rate for solid propellants, mechanical behaviour) and lower the sensitivity of materials (ignition at defects).

Traditional procedure involves grinding and sizing through mechanical tools. Development of new energetic solid compounds needs the control of the polymorphism and also the modification of the crystal habits to achieve the right shape and size of crystals. New tools for processing of solid particles are needed.

This presentation shows the use and setup of new tools that are currently under evaluation at research and pilot scale for some representative axes of new molecules.

- Rationalization of the study of crystallization, when applied to CL20, led to the total control of particles range up to more than 250 microns.
- ADN is a special compound due to the low melting point. Prilling appears a candidate method and indeed can produce round material, whose size can be adjusted by the process parameters. However, a new way of crystallization with additive to obtain improved shape of crystal was developed with the aid of modelling and is now under study to be transferred to pilot scale.
- Reduction to nano scale is of course a challenge in energetic materials. Processes exist in other sectors of chemistry like pharmaceuticals. The very high polarity of nitro compounds eliminates the most practical way of expansion of a solution in supercritical fluids. Precipitation is achieved by rapid addition of a non solvent (either liquid or supercritical or gaseous).

In parallel to better tailored made morphologies, improved properties in feasibility and safety are forecast. The characterization of the properties of these particles is then required to understand the effect of the process and the physical behaviour of the crystals.

DOI: 10.17223/9785946215596/18

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЯ СРЕДСТВ РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В.П. Карих, А.В. Литвинов, А.Г. Митин, А.А. Скоков

АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

В АО «ФНПЦ «Алтай» разработан бетатронный томограф для контроля изделий диаметром до 1000 мм. Источником излучения является бетатрон МИБ-10 с энергией тормозного излучения до 10 МэВ, приемником излучения – детекторная линейка на 256 каналов.

В известных зарубежных томографах изделие закрепляется вертикально на поворотном столе, источник и линейка детекторов устанавливаются на определенной высоте. При разработке отечественного томографа предпочтение отдано горизонтальному сканеру. Изделие располагается на вращающихся валках, а детекторная линейка регистрирует излучение, пересекающее верхнюю половину сечения (рис. 1). Новое сканирование повлекло разработку соответствующего алгоритма реконструкции.

В настоящее время изготовлены два томографа, которые эксплуатируются на предприятиях отрасли.

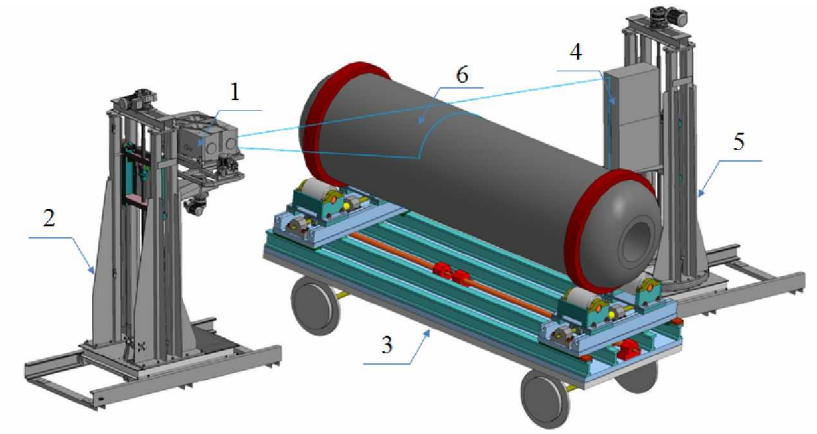


Рис. 1. Конструкция бетатронного томографа и геометрия сканирования: 1 – излучатель бетатрона; 2 – устройство ориентации бетатрона; 3 – платформа-сканер на шаговых двигателях; 4 – детекторная линейка; 5 – устройство ориентации детекторной линейки; 6 – объект контроля

Для проверки чувствительности томографа был разработан и изготовлен тестовый образец, который имитировал дефекты в виде раковин определенных размеров и трещиноподобные дефекты. На основе томограммы образца, помещенного в канал изделия диаметром 750 мм, получены следующие данные: томограф позволяет выявлять раковины объемом 0,004 см^3, что на два порядка превышает результаты радиометрического метода контроля, и трещиноподобные дефекты с раскрытием 0,03 см.

Дальнейшая отработка томографа проводилась на высокоэнергетических материалах с реальными дефектами. Томограммы отчетливо отображали дефекты сложной конфигурации. Ранее наблюдать столь подробную информацию не представлялось возможным.

В перспективе в АО «ФНПЦ «Алтай» поставлена задача разработки томографа для контроля изделий диаметром до 2000 мм и более.

DOI: 10.17223/9785946215596/18

RESULTS OF DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF X-RAY COMPUTED TOMOGRAPHY MEANS FOR NON-DESTRUCTIVE TESTING OF ARTICLES FROM HIGH-ENERGY MATERIALS

V.P. Karikh, A.V. Litvinov, A.G. Mitin, A.A. Skokov
JSC Federal Research & Production Center "ALTAI", Biysk

The betatron tomograph to control 1000 mm diameter articles has been developed at JSC FR&PC "ALTAI". Radiation source is MIB-10 betatron with bremsstrahlung energy up to 10 MeV, radiation detector is a line of detectors with 256 channels.

An article is fixed vertically on the rotating table in well-known foreign tomographs, the source and the line of detectors are mounted at a specified height. Preference was given to a horizontal scanner when developing a domestic tomograph. The article is placed on the rotating shafts, and the line of detectors records radiation, cutting the top half the section (Figure 1). New scanning caused the development of the corresponding improvement algorithm.

Nowadays, two tomographs operating at plants are made.

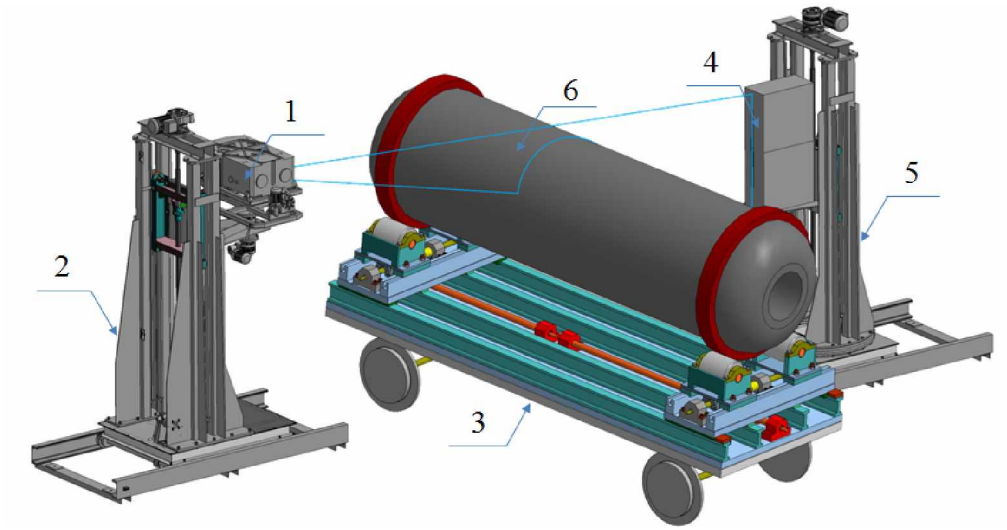


Fig. 1. Betatron tomograph construction and scanning geometry: 1 – betatron emitter; 2 – betatron orienter; 3 – stepper based platform-scanner; 4 – line of detectors; 5 – line of detectors orienter; 6 – object to control

A specimen, simulating the defects in the form of cavities with certain sizes and crack-like defects, was designed and manufactured to test tomograph sensitivity. The following data was obtained based on the specimen tomogram placed into the article channel with 750 mm diameter: the tomograph allows detecting 0.004 cm^3voids that exceeds by two orders of magnitude the radiometric control results, and crack-like defect with 0.03 cm opening.

Further tomograph testing was performed with high-energy materials with real defects. Tomograms clearly displayed defects of difficult configuration. It was impossible to observe such detailed information previously.

In the near future, JSC FR&PC "ALTAI" should develop the tomograph to control articles with diameter up to 2000 mm and more.

DOI: 10.17223/9785946215596/19

ГОРЕНИЕ МОДЕЛЬНЫХ АГЛОМЕРАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЯ И БОРА ПРИ СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ В ВОЗДУХЕ

О.Г. Глотов, Г.С. Суродин, О.Н. Житницкая

Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского Сибирского отделения российской академии наук (ИХКГ СО РАН), г. Новосибирск

Интерес к параметрам горения частиц комбинированного металлического горючего на основе алюминия и бора обусловлен имеющейся информацией о том, что применение композиции Al + B может способствовать повышению полноты сгорания бора в прямоточном воздушно-реактивном двигателе [1]. В работе экспериментально исследовано горение одиночных сферических модельных частиц-агломератов из алюминия и бора. Для получения горящих частиц-агломератов контролируемого размера использованы специальные образцы. Они представляют собой безметальное топливо-матрицу, в которое помещено определённое количество одинаковых миниатюрных кусочков-включений, изготовленных из металлизированного смесевого топлива. В волне горения матрицы каждое включение превращается в горящую частицу-агломерат. Масса, состав и структура агломератов предопределены рецептурой и размером включений [2, 3]. В работе продолжены исследования, начатые в [4] с применением включений следующего состава: 55% Al, 13% B, 32% связующего. В настоящей работе варьировали дисперсность Al. Использовали порошок АСД-4 с d_{43} = 9 мкм, либо выделенные из него фракции 0,3–0,7 мкм и 0,5–1,5 мкм. Бор во всех случаях был один и тот же – аморфный с d_{43} = 5,4 мкм. Варианты рецептуры включений будем обозначать Al9B, Al05B и Al1B в соответствии с характерными размерами частиц алюминия (9, 0,5 и 1 мкм) в их составе.

Целью данной работы было получение информации о структуре, временах горения и об изменении массы и размера модельных Al/B-агломератов при их горении в условиях свободного падения в воздухе при атмосферном давлении. Исследуемые агломераты имели диаметр в диапазоне 320–780 микрон. Эксперименты проведены по методике [3].

Основные результаты. В табл. и на рис. представлены размерные и массовые параметры частиц, а также зависимости времени горения t_b от диаметра частиц. Использованы обозначения: D_{AlB} – средний начальный диаметр Al/B-агломератов, D_{ox} – средний диаметр частиц-остатков, m_{AlB} и m_{ox} – средние массы агломератов и остатков, N_{ox} – число обработанных частиц. Абсолютные погрешности приведённых значений следующие: ±0.02 для m_{ox}/m_{AlB}, ±0.03 для D_{ox}/D_{AlB} и ± 20 мкм для D и ±0.04 с для t_b.

Горючее	m_{ox}/m_{AlB}	D_{ox}/D_{AlB}	N_{ox}, шт.	Зависимость t_b(c) от D (мкм)
Al9B	0.95	1.04	61	$t_b(D) = (0.98\pm0.92)\times10^{-4}\cdot D^{1.51\pm0.15}$
Al1B	1.00	1.04	41	$t_b(D) = (1.06\pm0.90)\times10^{-4}\cdot D^{1.51\pm0.13}$
Al05B	0.89	1.03	49	$t_b(D) = (0.74\pm0.65)\times10^{-4}\cdot D^{1.54\pm0.14}$
В среднем	0.95	1.04	151	$t_b(D) = (1.93\pm0.89)\times10^{-5}\cdot D^{1.77\pm0.07}$

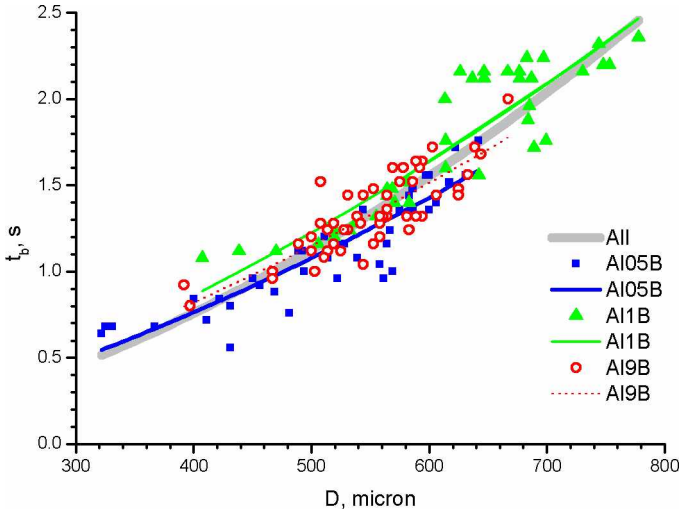


Рис. 1. Зависимости времени горения Al/B-агломератов от диаметра для трёх вариантов металлического горючего. Точки – эксперимент, линии – аппроксимация

Зависимости t_b(D) описываются степенной функцией с показателем 1.5–1.8. Существенными особенностями механизма горения являются слабое изменение массы и диаметра частицы в процессе выгорания, а также специфическая структура частиц в виде борсодержащего ядра, заключенного в оболочку, в которой отсутствует бор.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 15-03-04321).

Литература

1. Сорокин В.А., Яновский Л.С., Козлов В.А., Суриков Е.В. Ракетно-прямоточные двигатели на твёрдых и пастообразных топливах. М. : Физматлит, 2010.
2. Глотов О.Г., Жуков В.А. Эволюция 100-микронных Al агломератов и сплошных Al частиц в пламени модельного твердого топлива. I. Эксперимент. подход // Физ. гор. и взрыва. 2008. Т. 44, № 6. С. 52–60.
3. Глотов О.Г. Горение сферических титановых агломератов в воздухе. I. Эксперимент. подход // Физ. гор. и взрыва. 2013. Т. 49, № 3. С. 50–57.
4. Глотов О.Г., Суродин Г.С., Житницкая О.Н., Кискин А.Б. Горение монодисперсных агломератов из алюминия и бора в воздухе // Матер. IX Всерос. конф. с межд. участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения». Новосибирск, 2015. URL: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D1_S3-6.pdf

DOI: 10.17223/9785946215596/19

COMBUSTION OF ALUMINUM AND BORON MODEL AGGLOMERATES FREE FALLING IN AIR

O.G. Glotov, G.S. Surodin, O.N. Zhitnitzkaya
Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (ICKC SB RAS), Novosibirsk

Interest to combustion parameters of the composite metal particles based on aluminum and boron is inspired by information [1] that application of Al + B composite fuel may result in increasing the completeness of boron combustion in a ramjet engine. The combustion of single spherical model particles-agglomerates made of aluminum and boron mixture was experimentally investigated in the present work. To obtain objective data on the coarse agglomerate combustion, we developed an original approach, based on the firing the special samples, generating the burning agglomerate particles of a given size. The samples consist of the metal-free propellant-matrix with inserted the finite number of identical size miniature pieces-inclusions, made of heavily metalized composite propellant. In the course of experiment each inclusion, consisting of a large number of micron size particles, transforms into a burning particle-agglomerate in the matrix combustion wave. The agglomerates are of almost the same size, mass, composition, and structure, predetermined by the size and formulation of inclusions [2, 3].

The current work continues the investigations started in [4]. The following composition of inclusions has been chosen: 55 % aluminum, 13 % boron, 32 % energetic binder. The dispersion of Al was varied. Three powders were used, namely: either the Russian commercial powder ASD-4 with d_{43} = 9 micron or narrow fractions of 0.3–0.7 micron and 0.5–1.5 micron isolated from ASD-4 with a centrifugal classificator. The amorphous boron with d_{43} = 5.4 micron was used in all compositions. Three formulations of inclusions are further designated as Al9B, Al1B and Al05B, according to the characteristic sizes of Al particles (9, 1, and 0.5 micron) in their composition.

The goal of work was to obtain information on structure, burning times and the change in the mass and size of single model Al/B-agglomerates upon their combustion in free fall motion in air at atmospheric pressure. The studied agglomerates had diameter in the range of 320–780 micron. Experiments were made with use the technique described in [3].

Main results. The table and figure summarize the averaged values of the mass and dimensional parameters and the dependencies of burning time on initial particle diameter, $t_b(D)$. Here D_{AlB} – average initial diameter of Al/B agglomerate, D_{ox} – the average diameter of the final particle residue, m_{AlB} and m_{ox} – the average mass of agglomerates and the residues, N_{ox} – number of the processed particles. Absolute errors of the values presented are the following: ±0.02 for m_{ox}/m_{AlB}, ±0.03 for D_{ox}/D_{AlB}, ± 20 micron for D, and ±0.04 with for t_b.

Metal fuel	m_{ox}/m_{AlB}	D_{ox}/D_{AlB}	N_{ox}, pcs	Approximation
Al9B	0.95	1.04	61	$t_b(D) = (0.98\pm0.92)\times10^{-4}\cdot D^{1.51\pm0.15}$
Al1B	1.00	1.04	41	$t_b(D) = (1.06\pm0.90)\times10^{-4}\cdot D^{1.51\pm0.13}$
Al05B	0.89	1.03	49	$t_b(D) = (0.74\pm0.65)\times10^{-4}\cdot D^{1.54\pm0.14}$
Averaged	0.95	1.04	151	$t_b(D) = (1.93\pm0.89)\times10^{-5}\cdot D^{1.77\pm0.07}$

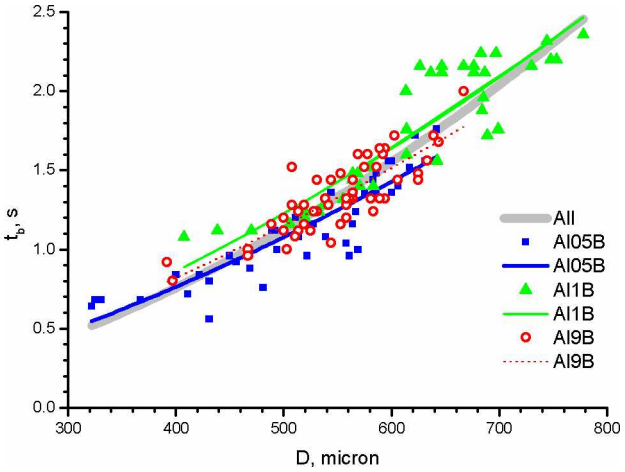


Fig. 1. Burning time dependencies on diameter for the Al/B-agglomerates made of three different metallic fuels Al9B, Al1B, and Al05B: Dots – experimental data, Lines – power function approximations

Thus, the dependencies of the burning time *versus* diameter are described in terms of the power function with an exponent of 1.5–1.8. The particular features of the combustion mechanism of Al/B-particles are: (1) a weak change in particle mass and diameter upon combustion, and (2) a specific particle structure in the form of boron-containing nucleus, enclosed in the shell without boron.

The work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project # 15-03-04321).

References

1. Rocket ramjet motors on solid and pastelike propellants // Sorokin V.A., Yanovsky L.S., Kozlov V.A., Surikov E.V. / Milyokhin Yu.M., Sorokin V.A. (Eds.). Moscow : Fizmatlit, 2010. [in Russian]
2. Glotov O. G., Zhukov V. A. The Evolution of 100-μm Aluminum Agglomerates and Initially Continuous Aluminum Particles in the Flame of a Model Solid Propellant. I. Experimental approach // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2008. V. 44, No. 6. P. 662–670.
3. Glotov O. G. Combustion of spherical agglomerates of titanium in air. I. Experimental approach // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2013. V. 49, No. 3. P. 299–306.
4. Glotov O.G., Surodin G.S., Zhitnitsky O.N. Kiskin A.B. Combustion of monodisperse Al/B-agglomerates in air // Proc. IX All-Russian conference «Propellant combustion: theory, experiment, applications», Novosibirsk, 2015. © Kutateladze Institute of Thermophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, 2015 (8 pages). URL: http://www.itp.nsc.ru/conferences/gt-2015/Files/D1_S3-6.pdf

DOI: 10.17223/9785946215596/20

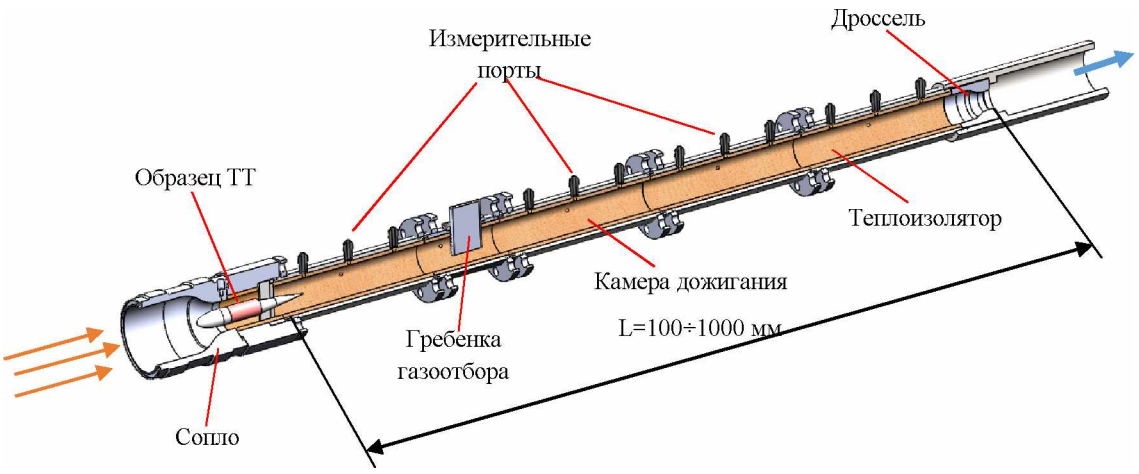
МЕТОДИКА РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ГОРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ВОЗДУХА

В.И. Звегинцев, С.М. Аульченко, С.В. Лукашевич, Д.Г. Наливайченко

Институт теоретической и прикладной механики имени С. А. Христиановича СО РАН, г. Новосибирск

Целью данной работы является выбор обобщающих критериев и создание единой унифицированной методики экспериментального исследования характеристик горения твердого топлива (ТТ) в высокоскоростном потоке воздуха. На основе такой методики можно будет регламентировать требования к создаваемым ТТ для ПВРД и, в то же время, обеспечить взаимопонимание разработчиков топлива и прямоточного двигателя по основным характеристикам горения твердого топлива.

Для проведения экспериментальных исследований была создана установка, включающая короткую камеру для воспламенения и начального горения твердого горючего в высокоскоростном (дозвуковом) потоке воздуха и длинную (до 1 м) камеру дожигания.



В состав установки входят автоматизированная система нагрева, подачи и регулирования расхода воздуха, система воспламенения горючего в камере сгорания, система отвода высокотемпературных продуктов сгорания. Установка оснащена современной быстродействующей системой измерений, позволяющей измерять расход окислителя на входе и расход продуктов сгорания на выходе, нестационарные значения давлений и температур, унос массы топливных образцов, выделение тепла при горении с учетом теплоотвода в стенки. Основными особенностями установки являются широкий диапазон реализуемых условий испытаний, соответствующий условиям натурного полета, и короткое время рабочего режима (порядка несколько секунд), что позволяет существенно снизить стоимость ее создания и эксплуатации.

В процессе эксперимента сжатый воздух поступает в форкамеру установки через омический подогреватель, разогретый до 800 К. При необходимости в форкамере воздух разогрева-

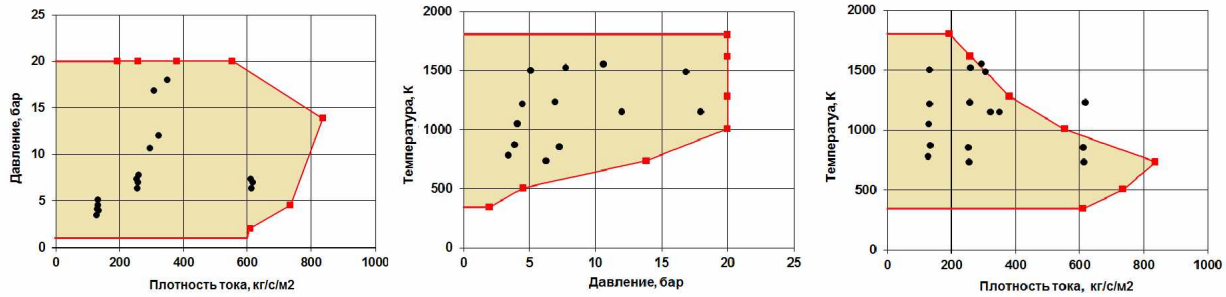
ется до температуры < 1600 К с помощью огневого подогрева (водород+кислород). Далее воздух поступает в короткую камеру, где по оси установлен образец ТТ, представляющий собой цилиндр длиной 40 мм и внешним диаметром 20 мм. Горение и унос массы образца ТТ осуществляются только на внешней поверхности цилиндра. В длинной камере дожигания производится исследование процесса догорания конденсированных частиц топлива. Дроссельная шайба на выходе камеры дожигания позволяет регулировать давление в дозвуковой камере сгорания,

В каждом эксперименте выполняется измерение давлений с помощью малогабаритных тензодатчиков давления, измерение температур с помощью термопар вольфрам-рений, отбор газовых проб из потока через приемники полного давления.

На основе полученных экспериментальных данных о температуре, давлении, концентрации кислорода в контрольных сечениях канала и скорости массового уноса при горении ТТ численно решается обратная задача восстановления неизвестных параметров в обобщенных уравнениях химической кинетики, моделирующих процесс горения ТТ, таких как стехиометрические коэффициенты, константы скорости реакции, энергия активации и тепловыделение. Для моделирования горения ТТ используется созданная программа расчета течения многокомпонентной среды с учетом химических реакций, основанная на КГД-алгоритмах. Расчет параметров, определяющих горение ТТ, осуществляется минимизацией функционала, являющегося суммой квадратов отклонений экспериментальных и расчетных данных. В работе использованы два метода минимизации функции многих переменных: неградиентный метод поиска с адаптацией и использованием элемента случайности и метод покоординатного спуска.

По результатам расчетов для всего диапазона экспериментально исследованных режимов получены обобщающие зависимости определяющих параметров от характеристик течения.

В первой серии экспериментов были реализованы основные рабочие режимы установки, соответствующие условиям в камерах сгорания ПВРД при натурном полете в диапазоне от M = 2 до M = 7.

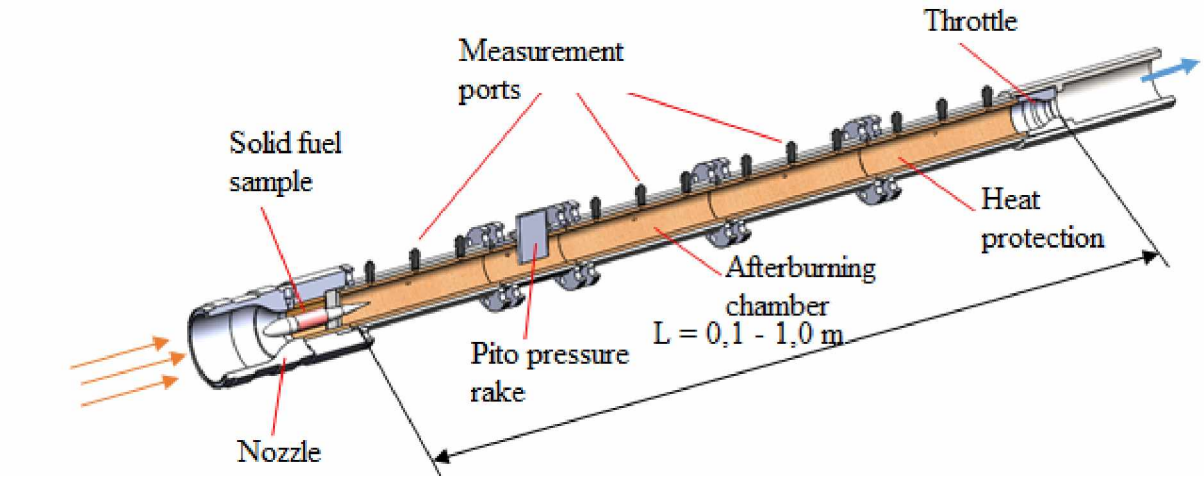


DOI: 10.17223/9785946215596/20

THE METHOD OF EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL STUDIES OF SOLID FUELS COMBUSTION IN A HIGH SPEED AIR FLOW

V.I. Zvegintsev, S.M. Aulchenko, S.V. Lukashevich, D.G. Nalivaychenko
ITAM SB RAS, Novosibirsk

The aim of this paper is to generalize the unified criteria and the development of unified methodology for experimental investigation of the solid fuel combustion in a high speed air flow. On the basis of this technique the requirements for ramjet solid fuels could be chosen and at the same time, mutual understanding to be ensure between fuel developers and ramjet engine designers on the main characteristics of the solid fuel combustion.



For experimental studies test facility was created that includes a short chamber for ignition and the initial combustion of solid fuel in the high-speed (subsonic) air flow and a long (up to 1 m) post-combustion chamber. The facility consists of an automated system of air flow heating, supply and regulation, the ignition system of the fuel in the combustion chamber, the evacuation system of high temperature combustion products.

Facility is equipped with modern high-speed measurement system that allows to measure air flow rate at the input and the flow rate of the combustion products at the output, nonstationary pressure and temperature, mass loss of fuel samples. The main features of the facility are: a wide range of ongoing test conditions corresponding to the conditions of real flight, and a short time operation (the order of a few seconds), which can significantly reduce the cost of its development and operation.

During the experiment, the compressed air heated to 800 K enters the pre-chamber system via an ohmic heater. If necessary, this air flow can be heated to a temperature of <1700 K by using of the heating fire (hydrogen + oxygen). Next, the air comes into the short chamber, where solid fuel sample as a cylinder 40 mm long and 20 mm outer diameter is located along the axis. Burning and mass loss of solid fuel sample are carried out only on the outer surface of the cylinder. In a long post-

combustion chamber a study of the combustion of fuel burn-condensed particles is conducted. The throttle at the afterburning chamber outlet allows us to adjust the required level of pressure in the subsonic combustion chamber.

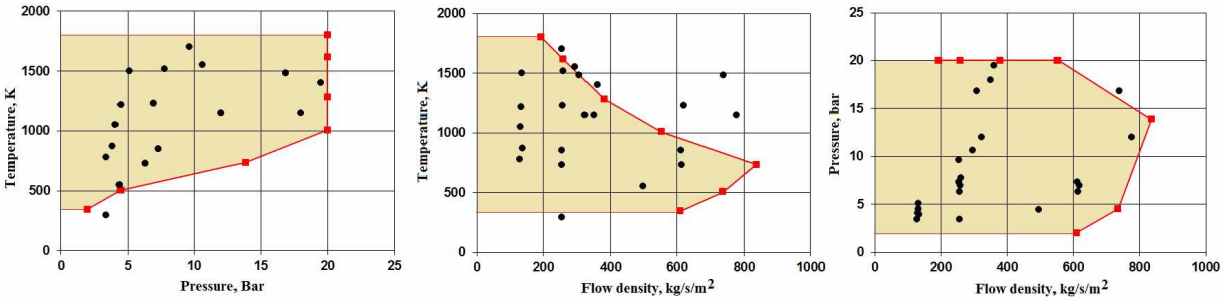
In each experiment, the pressure measurement with using of pressure strain gauges, measuring the temperature with using of tungsten-rhenium thermocouples, gas sampling from a flow receivers through the Pitot pressure probes are performed.

On the basis of experimental data on temperature, pressure, oxygen concentration in the control sections of the channel and mass ablation rate during solid fuel combustion the reconstruction of unknown parameters such as the stoichiometric coefficients, reaction rate constant, activation energy and heat addition in the generalized equations of chemical kinetics is performed.

For modelling of solid fuel combustion the calculation program based on the KGD - algorithms for multicomponent gas flow with chemical reactions was established. Calculation of the parameters that determine the solid fuel combustion is performing by minimizing the functional, which is the sum of squared deviations of the experimental and calculated data. We used two methods to minimize a function of several variables: nongradient searching method with the adaptation and use of the chance elements and a descent method.

The calculations make it possible to make a generalization of defining parameters in accordance with the main air flow parameters for the whole range of experimental conditions studied.

In the first series of experiments the main operating regimes of the facility were realized (solid points) that correspond to the conditions in the ramjet combustion chambers during the real flight from M = 2 to M = 7 (colored area).



DOI: 10.17223/9785946215596/21

ТЕРМОГАЗОГЕНЕРАТОР НА ОСНОВЕ НИТРАТА АММОНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

А.Е. Баққара[1], Б.С. Садыков[1], С. Турсынбек[1], С.Б. Любчик[2], Ю.В. Казаков[1], Н.Н. Мофа[1], З.А. Мансуров[1]

[1] *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Институт проблем горения, г. Алматы*
[2] *Universidade Nova de Lisboa, Lisbon, Portugal*

В последнее время для интенсификации нефтедобычи широко используются методы термогазохимического воздействия на призабойную зону с помощью высокоэнергетических пиротехнических и пороховых топлив. Уникальными источниками энергии и химических реагентов для реализации обработки скважин являются энергонасыщенные материалы, представляющие газогенерирующие при сгорании композиционные материалы и формируемые в твердом виде в контейнеры – термоисточники [1, 2].

Особенностью термоисточников из композиционных материалов на основе аммиачной селитры является их взрывобезопасность и способность создавать в забое в одной технологической операции одновременно высокие или повышенные давления, температуры и газообразные продукты, в том числе, состоящих преимущественно из активных высокотемпературных химических реагентов.

Данные композиции являются системами «окислитель-горючее», в которых в качестве окислителя используется нитрат аммония. В качестве горючего использовали эпоксидную смолу и композит «магний-графит», который получили методом механохимической обработки. Эти составы не обладают взрывчатыми характеристиками.

Горение состава изучали в реакторе для сжигания при атмосферном давлении. Температуру горения определяли с помощью пирометра.

В результате послойного сгорания состава термоисточника образующиеся высокотемпературные газообразные продукты создают в области интервала обработки повышенное давление и проникают в поры и трещины призабойной зоны. В результате исследования определено, что температура горения пиротехнического состава на основе нитрата аммония с композитом «магний-графит» повысилась на 300°С, а скорость горения повысилась на 2 раза.

Литература

1. Чипига С. В., Садыков И.Ф. Разработка экспресс-технологий и технических средств для их осуществления с целью интенсификации добычи нефти, полезных ископаемых с использованием процессов горения и взрыва / Казанский национальный исследовательский технологический университет. Казань, 2011.
2. Гарифуллин Р.Ш. [и др.]. Перспективные составы для обработки нефтяных скважин с применением порошкообразного эластомера // Вестник КГТУ им. Кирова. 2010. № 9. С. 873–876.

DOI: 10.17223/9785946215596/21

THERMOGENERATOR ON THE BASIS OF AMMONIUM NITRATE FOR PROCESSING OF OIL WELLS

A. Bakkara[1], B. Sadykov[1], S. Tursynbek[1], S. Lyubchyk[2], Yu. Kazakov[1], N. Mofa[1], Z. Mansurov[1]

[1]al-Farabi Kazakh National University, Institute of Combustion Problems, Almaty
[2]Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Recently, for intensification of oil production are widely used methods thermogaschemical impact on bottom-hole area by using high-energy pyrotechnic and propellant fuels. Unique energy sources and chemicals for the implementation of well treatment are energy-intensive materials representing gas-generating the combustion of composite materials and formed in solid form in containers - thermosources [1, 2].

Feature of thermosources of composite materials on the basis of ammonium nitrate is their explosion and the ability to create in the face in a single technological operation simultaneously high or elevated pressure, temperature and gaseous products, including, consisting mainly of active high-temperature chemicals. These compositions are systems of "oxidizer-fuel", in which as the oxidant used ammonium nitrate.

As fuel used epoxy and composite magnesium-graphite", which was obtained by methods of mechanochemical treatment. These compounds do not have explosive characteristics.

The combustion of the composition was studied in the reactor for the combustion at atmospheric pressure. combustion temperature was determined using a pyrometer.

In the result of layer-by-layer combustion of the composition of the thermosource the resulting high temperature gaseous products created in the field of processing interval increased pressure and penetrate into the pores and cracks in the bottom zone. The study determined that the combustion temperature of a pyrotechnic composition based on ammonium nitrate with a composite magnesium-graphite" increased to 300°C, and the burning rate increased by 2 times.

References

1. Chipiga S. V., Sadykov I. F. Development of rapid technologies and technical means for their implementation with the purpose of intensification of oil production, mineral resources using processes of combustion and explosion / Kazan national research technological University. Kazan, 2011 [In Rus.].
2. Garifullin R. S. Promising compounds for the treatment of oil wells with the use of powdered elastomer / Garifullin R. S. [and others] // Bulleten KGTU im. Kirov / Cauldron. GOS. tekhnol. Univ. of Illinois. Kazan, issue No. 9, 2010. P. 873–876 [In Rus.].

DOI: 10.17223/9785946215596/22

ВЛИЯНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ И МОДИФИЦИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ГОРЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Б.С. Садыков[1], Н.Н. Мофа[1], Л. Галфетти[2], З.А. Мансуров[1]

[1]Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Институт проблем горения, г. Алматы
[2]Миланский Политехнический Университет, г. Милан

В настоящее время горение металлических частиц рассматривается как весьма эффективный метод преобразования химической энергии различных неорганических соединений в тепловую энергию. Металлические частицы обладают значительно большим объемным энерговыделением, чем традиционные углеводородные топлива, при этом особое место отводится алюминию [1]. Он вводится в состав различных видов топлива, в том числе ракетного [2]. Металлические порошки получают различными методами, среди которых механохимическому способу в последнее время уделяется все больше внимания [3, 4]. Механохимический синтез горючих смесей представляет обработку в высокоскоростных планетарных мельницах, вибромельницах и других устройствах. При механической активации уменьшается не только размер частиц, но и увеличивается площадь контакта между реагентами, происходит очистка от оксидной пленки и других примесей, накапливаются дефекты кристаллической структуры, которые обеспечивают увеличение химической активности состава.

Механохимическим методом синтезирован широкий круг композиционных систем [5, 6]. Разработаны энергетические композитные системы металл/органическое вещество, к примеру, такие как алюминий/тефлон, магний/тефлон [7]. От выбора органической добавки при механохимической обработки (МХО) во многом зависит как степень диспергирования алюминиевых частиц, так и формирование их структурных особенностей, которые определяют степень активности металлических реагентов в последующих процессах горения.

В настоящей работе рассматривается роль конкретных органических добавок и выбор оптимальных режимов МХО алюминия в развитии последующего твердофазного горения в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Методом СВС можно диагностировать влияние МХО на термокинетические характеристики процесса горения порошковых систем.

Основным сырьевым материалом был алюминиевый порошок марки ПА4. Диоксид кремния использовался как окислитель в процессе твердофазного горения. В качестве органического модифицирующего реагента служили графит и стеариновая кислота ($C_{18}H_{36}O_2$). При измельчении варьировалось время и соотношение используемых материалов в смеси обрабатываемых порошков.

Чтобы предотвратить окисление частиц алюминия кислородом воздуха после МХО и оценить изменения, действительно связанные с механическим воздействием, образцы диспергированной смеси на основе алюминия и органической добавки пассивировались гексаном.

Активность измельченного и модифицированного в механическом реакторе алюминия оценивали волюмометрическим методом по выделению водорода.

Изучено влияние механохимической активации на микроструктуру и реакционную способность активированного и модифицированного алюминия. Показано, что поверхность частиц порошка алюминия, полученного при МХО, покрыта органическим слоем, который предотвращает окисление. Использование графита приводит к уменьшению индукционного периода зажигания, а стеариновая кислота улучшает капсуляцию и стабилизирует процесс горения системы. Изменение структуры и модификация частиц шихтовой смеси в результате МХО обеспечивает повышение энергоемкости системы и изменение кинетических параметров СВ-синтеза. Конечным результатом является более полная конверсия компонентов шихты и формирование фазового состава, обеспечивающего высокие показатели прочности синтезированного материала.

Литература

1. Бернер М.К., Зарко В.Е., Талавар М.Б. Наночастицы энергетических материалов: способы получения и свойства (обзор) // Физика горения и взрыва. 2013. Т. 49, № 6. С. 3–30.
2. Де Лука Л.Т., Галфетти Л., Северини Ф., Меда Л., Марра Ж., Ворожцов А.Б., Седой В.С., Бабук В.А. Горение смесевых твердых топлив с наноразмерным алюминием // Физика горения и взрыва. 2005. Т. 41, № 6. С. 80–94.
3. Стрелецкий А.Н., Колбанев И.В., Борунова А.Б., Леонов А.В., Бутягин П.Ю. Механохимическая активация алюминия. 1. Совместное измельчение алюминия и графита // Коллоидный журнал. 2004. Т. 66, № 6. С. 811–818.
4. Рогачев А.С., Мукасьян А.С. Горение гетерогенных наноструктурных систем // Физика горения и взрыва. 2010. Т. 46, № 3. С. 4–30.
5. Grigorieva T.F., Barinova A.P., Lyakhov N.Z. Mechanosynthesis of nanocomposites // Journal of nanoparticle research. 2003. № 5. P. 439–453.
6. Мансуров З.А., Мофа Н.Н. Механохимический синтез композиционных материалов. Алматы : Қазақ университеті, 2016. 316 с.
7. Ляхов Н.З., Григорьев Т.Ф., Баринов А.П., Ворсина И.А. Механохимический синтез органических соединений и композитов с их участием // Успехи химии. 2010. Т. 79, № 3. С. 218–233.

DOI: 10.17223/9785946215596/22

THE EFFECT OF MECHANOCHEMICAL ACTIVATION AND MODIFICATION OF ALUMINIUM ON TECHNOLOGICAL COMBUSTION OF CONDENSED SYSTEMS

B.S. Sadykov[1], N.N. Mofa[1], L. Galfetti[2], Z.A. Mansurov[1]

[1]al-Farabi Kazakh National University, Institute of Combustion Problems, Almaty
[2]Polytechnic University of Milan, Milan

At present, combustion metal particles is considered to be a quite effective method for conversion of chemical energy of different inorganic compounds into thermal power. Metal particles are dis-

tinguished by a quite greater intensive energy release compared to traditional hydrocarbon fuels, a special place being occupied by aluminium [1]. It is introduced into composition of different kinds of fuels including propellants [2]. Metal powders are obtained by different methods, among which more and more attention has been paid to the mechanochemical one [3, 4]. Mechanochemical synthesis of combustible mixtures is processing in high-speed planetary mills, vibratory mills and other devices. In the course of mechanical activation, there take place not only the decrease in the size of particles but also the increase in the area of contact between reagents, cleaning from oxide film and other impurities, accumulation of the crystalline structure defects which provide the increase in the chemical activity of the composition.

A wide range of composition systems was synthesized by the mechanochemical method [5, 6]. Power composite systems metal/organic substance, for example, such as aluminium/Teflon, magnesium/Teflon, have been developed. The choice of organic additive during mechanochemical treatment (MCT) influences mush both the degree of dispersion of aluminium particles and formation of their structural peculiarities which determine the activity level of metal reagents in subsequent combustion processes.

This work deals with role of specific organic additives and the choice of optimal conditions of MCT of aluminium in the development of subsequent solid phase combustion under the conditions of self-propagating high temperature synthesis (SHS). The SHS method allows to diagnose the effect of MCT on thermokinetic characteristics of the combustion process of powder systems.

The main raw material was aluminium powder of the brand PA4. Silicon dioxide was used as oxidizer in the process of solid phase combustion. Graphite and stearic acid (C18H36O2) served as a modifying reagent. When milling, the time and ratio of the materials being used in the mixture of treated powders, were varied.

To prevent oxidation of aluminium particles by oxygen of air after MCT and evaluate the changes actually related to mechanical effect, samples of the dispersed mixture based on aluminium and organic additive were passivated by hexane. The activity of aluminium milled and modified in the mechanical reactor was evaluated by the volumetric method according to evolution of hydrogen.

The effect of mechanochemical activation on the microstructure and reactivity of activated and modified aluminium was studied. It is shown that the surface of aluminium powder particles obtained in the course of MCT is covered with an organic layer which prevents oxidation. The use of graphite results in the decrease of the induction period of ignition and stearic acid improves capsulation and stabilizes in the combustion process of the system. The change in the structure and modification of the charge mixture particles due to MCT provide the increase in the power intensity of the system and the change in the kinetic parameters of SH-synthesis. The final result is a more complete conversion of the charge components and formation of the phase composition providing high indices of the strength of the synthesized material.

References

1. Berner M.K., Zarko V.E., Talavar M.B. Nanoparticles of power materials: methods of obtaining and properties (Review) // Physics of combustion and explosion. 2013. V. 49, № 6. P. 3–30.

2. DeLuca L.T., Galfetti L., Severini F., Meda L., Marra Zh., Vorozhtsov A.B., Sedoi V.S., Babuk V.A. Combustion of mixture solid fuels with nano-scale aluminium // Physics of combustion and explosion. 2005. V.41, № 6. P. 80–94.
3. Streletski A.N., Kolbanev I.V., Borunova A.B., Leonov A.V., Butyagin P.Yu. Mechanochemical activation of aluminium. 1. Joint milling of aluminium and graphite // Coll.Jour. 2004. V. 66, № 6. P. 811–818.
4. Rogachev A.S., Mukasyan A.S., Combustion of heterogeneous nanostructural systems // Physics of combustion and explosion. 2010. V. 46, № 3. P. 4–30.
5. Grigorieva T.F., Barinova A.P., Lyakhov N.Z. Mechanosynthesis of nanocomposites // Journal of nanoparticle research. 2003. № 5. P. 439–453.
6. Mansurov Z.A., Mofa N.N. Mechanochemical synthesis of composition materials. Almaty : Kazakh University, 2016. 316 p.
7. Lyakhov N.Z., Grigoriev T.F., Barinov A.P., Vorsina I.A.Mechanochemical synthesis of organic compounds and composites with their participation // Successes of chemistry. 2010. V. 79, № 3. P. 218–233.

DOI: 10.17223/9785946215596/23

DUAL USE – NOVEL APPROACHES FOR ENERGETIC MATERIALS TECHNOLOGY

Adam Cumming
University of Edinburgh, UK

Energetic Materials Technology is usually divided into two separate sections, civil or military and even within those is often regarded as a separate discipline. Changes in technology and in the understanding of materials and their behaviour mean that there are both opportunities and challenges for the area. Conversely, the depth of analysis and understanding in energetics can offer new insights into issues experienced in other areas.

The best know example of dual use is that associated with rocket propulsion, which includes ingredients and materials, though the requirements for performance and properties do differ. This is discussed together with the benefits to be gained from the deeper and more precise characterisation developed for military use.

Novel Materials can be used for many applications and the design limits can be either more or less constraining for civil applications, but here again understanding is key and prediction very helpful. This too is briefly discussed.

This same understanding, such as that produced in pursuit of Insensitive Munitions can be used for the management of civil risks including their prediction and this is discussed with examples. These risks may include ignition and output including the understanding of the growth of reaction with the ability to predict damaging effects. Such an ability can be used to manage design and to mitigate illegal operations. The earliest example is the use of prototype tool to analyse the Lockerbie bombing and design improved containment technologies.

The use of traditional materials assessment and design technology can also be imported to improve energetics technology and examples of this are given. This includes the use of graphene and drugs assessment approaches.

All these draw on developing understanding and its application in new and different ways and require a greater breadth of awareness than was one assumed to be optimum.

DOI: 10.17223/9785946215596/24

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА ОКИСЛЕНИЯ НАНОПОРОШКА АЛЮМИНИЯ

А.В. Мостовщиков, А.П. Ильин, А.М. Громов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В работе исследовано влияние облучения нанопорошка алюминия потоком ускоренных электронов и СВЧ-излучения на удельный тепловой эффект окисления нанопорошка алюминия в воздухе. Для исследований был выбран нанопорошок алюминия марки «Alex», полученный в условиях электрического взрыва проводника в инертной среде. Распределение частиц по размеру близко к нормальнологарифмическому с максимумом 120 нм.

Плотность мощности воздействующего на нанопорошок электронного пучка не превышала 4 Вт/см^2, кинетическая энергия электронов в пучке составляла 360 кэВ. Плотность мощности СВЧ-излучения составляла 80 Вт/см^2, частота составляла 9,4 ГГц. Интегральное значение введенной в каждый образец энергии не превышало 100 Дж.

Установлено, что в результате облучения удельный тепловой эффект окисления повышается на ~ 20 % как в результате СВЧ-излучения, так и после воздействия электронного пучка. Вероятно, воздействие излучения приводит к частичному разрушению и увеличению проницаемости оксидно-гидроксидной оболочки на поверхности наночастицы и активированию её металлической составляющей.

DOI: 10.17223/9785946215596/24

THE APPLICATION OF HIGH-ENERGY RADIATIONS ON THE ALUMINUM NANOPOWDER FOR INCREASING THE THERMAL EFFECT OF OXIDATION

Andrei V. Mostovshchikov[1], Alexander P. Ilyin[2], A.M. Gromov
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

It was investigated the influence of electron beams and microwave radiation on the thermal effect of the aluminum nanopowder oxidation. For the investigation was taken aluminum nanopowder obtained by the electrical explosion of the aluminum wire in the argon atmosphere (trademark “Alex”). The size distribution of aluminum nanopowder was close to lognormal with a maximum at 120 nm.

During irradiation of the aluminum nanopowder, the power density of the electron beam did not exceed 4 W/cm^2 and the kinetic energy of the electrons in the beam was 360 keV. The power density

of the microwave radiation was 80 W/cm^2 and the frequency of the microwave radiation was 9.4 GHz. The total energy that introduced in the each sample did not exceed 100 J.

It was found, thermal effect of oxidation increased by 20 % after irradiation by microwave radiation and electron beam. Apparently, irradiation was the reason destroying of the oxide-hydroxide shell on the nanoparticles surface and activation of the metallic core in nanoparticles.

DOI: 10.17223/9785946215596/25

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ ГОРЕНИЯ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.П. Ильин, Л.О. Роот, Е.В. Шинкевич, В.В. Кривошеина, Р.Е. Котина, А.М. Громов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Ранее и сейчас считается, что кислород воздуха окисляет вещества при обычных температурах и при нагревании, в то время как азот является инертным веществом. В тоже время, на фоне этих представлений повышенная химическая активность азота наблюдалась даже при комнатной температуре: при окислении металлического лития в воздухе в основном стабилизировался нитрид лития. Также при сгорании магния в ограниченном объеме воздуха образуется наряду с оксидом и нитрид магния. При небольшом нагревании в воздухе титана на его поверхности образуется пленка нитрида титана золотисто-желтого цвета. Согласно термодинамическим расчетам при горении в воздухе нанопорошка алюминия в качестве промежуточного соединения может образовываться нитрид алюминия, который не сохраняется и доокисляется до оксида. При горении во время глобальных пожаров наблюдались колебательные процессы, «обратная тяга» и другие явления, которые трудно объяснить только газодинамическими процессами.

Цель данной работы – определение фазового состава продуктов сгорания смесей нанопорошка алюминия с оксидами лития, алюминия, титана, циркония и гафния в воздухе.

Продукты сгорания дезагрегировали и подвергали рентгенофазовому анализу. Перед сжиганием все смеси анализировали с помощью дифференциального термического анализа (ДТА) (термоанализатор SDT Q600). По результатам ДТА рассчитывали 4 параметра активности для определения чувствительности смесей к нагреванию. Согласно полученным данным смеси не пирофорны и при инициировании горения не взрываются. Установлены закономерности фазообразования при формировании продуктов сгорания: определены оптимальные соотношения нанопорошка алюминия и соответствующих оксидов, при которых выход нитридов максимален. Образование самостоятельных кристаллических фаз нитридов, а не гомогенных продуктов сгорания возможен при условии протекания процесса, когда взаимодействует только азот, а не кислород. Формирование нитридов протекает на второй стадии горения, когда температура в зоне горения превышает 1800–2000°С. В условиях высоких температур молекула кислорода из бирадикала (триплетное состояние) переходит в O≡O (синглетное состояние) и

теряет свою химическую активность, в то время, как азот при высокой температуре сохраняет свою реакционную активность. Образование нитридов металлов существенно меняет общепринятые представления о реакционной способности воздуха при высоких температурах.

DOI: 10.17223/9785946215596/25

REACTIVITY OF AIR IN THE COMBUSTION PROCESS AT HIGH TEMPERATURES

A.P. Ilyin, L.O. Root, E.V. Shinkevich, V.V. Krivosheina, R.E. Kotina, A.M. Gromov
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Formerly and now it is believed that oxygen in air oxidizes substances at ambient temperature and under heating, while nitrogen is an inert substance. At the same time, against these ideas, the increased chemical nitrogen activity was observed even at room temperature: as a result of metal lithium oxidation in air lithium nitride was mainly stabilized. Moreover, at magnesium combustion in a limited volume of air magnesium nitride is formed along with the magnesium oxide. With a slight heating of titanium in air, a golden yellow titanium nitride film is formed on its surface. According to thermodynamic calculations aluminum nitride can be formed at combustion of aluminium nanopowder in air as an intermediate product, which does not remain and is oxidized up to oxide. Oscillatory processes, "back draft" and other phenomena that are difficult to explain only through the gas-dynamic processes are observed at combustion in global fires.

The aim of this work is the determination of the phase composition of combustion products of aluminum nanopowder mixtures with lithium, aluminum, titanium, zirconium and hafnium oxides in air.

The combustion products were disaggregated and subjected to X-ray analysis. Before combustion all mixtures were analyzed by differential thermal analysis (DTA) (thermoanalyzer SDT Q600). On the results of DTA the 4 activity parameters were calculated to determine the sensitivity of the mixtures to heating. According to the obtained data the mixtures turned out to be not pyrophoric and did not explode at combustion initiation. The regularities of phase formation during the synthesis of combustion products, such as the optimal ratio of aluminum nanopowder and oxides, in which the output of nitrides is maximal, were established. The formation of nitrides separate crystalline phases instead of homogeneous combustion products is possible in case of reaction only with nitrogen instead of oxygen. The formation of nitrides occurs in the second burning stage when the temperature in the combustion zone exceeds 1800–2000°C. The biradical molecule of oxygen (triplet state) becomes at high temperatures O≡O (singlet state) and loses its chemical activity. Whereas nitrogen keeps its reaction activity at high temperatures. The formation of metal nitrides significantly changes the conventional understanding of reaction activity of air at high temperatures.

DOI: 10.17223/9785946215596/26

FEASIBILITY STUDY ON LASER IGNITION OF HAN-BASED MONOPROPELLANT

Toshiyuki Katsumi

Nagaoka University of Technology, Niigata

Green propellants attract a great deal of attention as alternative candidates of toxic hydrazine that is a monopropellant of reaction control systems of rocket, satellite, and asteroid probe. In Japan, hydroxylammonium nitrate (HAN) based monopropellant is focused on because it has not only low toxicity but also has favorable features, such as high propulsion performance, high storability and commercial availability. Togo et al. proposed the brand-new composition of HAN-based monopropellant, named as SHP163, which consists of 73.6mass% HAN, 3.9mass% ammonium nitrate (AN), 6.2mass% water, and 16.3mass% methanol [1]. Toxicity of SHP163 is much lower and propulsion performance of SHP163 is higher than that of hydrazine. In addition, thruster using SHP163 are researched and developed for the practical use [2,3]. Catalyst has been employed to initiate the chemical reaction of SHP163 in the same method as hydrazine thruster, and the hot gas produced by the chemical reaction is ejected through a nozzle and generates thrust. From these research, it was found that catalyst tended to degrade owing to high flame temperature and oxidizing atmosphere caused by combustion of SHP163. Because an ignition system which has long lifetime is necessary for the practical use of the SHP163, the catalyst that has long lifetime under the combustion of SHP163 has been investigated [4].

In this study, we focused on a laser ignition that has long lifetime because there is no object for the ignition in the combustion chamber. It has been reported that laser ignition could initiate the chemical reaction of the HAN-based monopropellants which have different compositions from SHP163 [5,6]. However, the possibility of laser ignition for HAN-based monopropellant has not been shown in thruster study. In addition, SHP163 has not been investigated. As a feasibility study, we performed laser ignition experiments of SHP163 in order to obtain laser ignition characteristics of SHP163. In the experiment, a droplet of SHP163 was irradiated with a laser in closed vessel assuming injected propellants. At the same time, we measured inside pressure of the vessel and observed behavior of the droplet by high-speed shadowgraph. As the results, the pressure rises significantly and the liquid jet comes from the droplet and expands at higher incident laser energy than 20mJ. This fact indicates that SHP163 can gasify partially by irradiation of a laser. In our full paper and presentation, we will present detail of these results and discuss the ignition characteristics and the feasibility of laser ignition of HAN-based monopropellant.

References

1. Sumto Togo, Hidehumi Shibamoto, and Keiichi Hori. Improvement of HAN-Based Liquid Monopropellant Combustion Characteristics // Proceeding of International workshop HEMs 2004. 2004.
2. Toshiyuki Katsumi, Hiroyuki Kodama, Tetsuo Matsuo, Hiroyuki Ogawa, Nobuyuki Tsuboi, and Keiichi Hori. Combustion characteristics of a hydroxylammonium nitrate based liquid propellant. Combustion mechanism and application to thrusters // Combustion, Explosion, and Shock Waves. 2009. № 45. P. 442–453.

DOI: 10.17223/9785946215596/27

ОПТИМИЗАЦИЯ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО ЗАРЯДА ГИБРИДНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В.А. Архипов, С.С. Бондарчук, А.Б. Ворожцов, А.С. Жуков, Н.Н. Золоторев, Б.В. Певченко, Л.А. Савельева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Гибридный ракетный двигатель (ГРД) относится к классу двигательных установок на комбинированном топливе и включает заряд твердого горючего материала (ТГМ), горящего в потоке газообразного или распыленного жидкого окислителя [1]. В настоящее время ГРД в качестве силовых установок серийных летательных аппаратов практически не используются. В связи с интенсификацией космических программ в последнее десятилетие возрос объем публикаций в области исследования рабочих процессов в гибридных схемах ракетных двигателей [2–5]. Это связано с тем, что ГРД обладает рядом преимуществ по сравнению с классическими схемами жидкостного (ЖРД) и твердотопливного (РДТТ) ракетных двигателей.

По сравнению с ЖРД гибридный двигатель обладает простотой конструкции, отсутствием сложной системы охлаждения камеры сгорания, низкой стоимостью и коротким циклом производства. По сравнению с РДТТ – низкой стоимостью компонентов топлива и отсутствием взрывчатых веществ в составе ТГМ, нечувствительностью к дефектам твердотопливного заряда (наличию трещин или раковин), более высокими значениями удельного импульса тяги, возможности регулирования тяги и многократного включения.

Отмеченные преимущества позволяют использовать ГРД в качестве космических двигательных установок разного назначения – от тяговых двигателей первых ступеней ракет до регулируемых двигателей систем ориентации, управления, мягкой посадки и др. Для практической реализации данного класса двигателей необходимо обеспечить высокие энергетические характеристики ГРД, позволяющие снизить стоимость запуска и вывода на орбиту космических аппаратов.

Для оптимизации заряда предлагается в состав твердого топлива наряду с горючими компонентами (горючее–связующее и порошок алюминия) вводить дополнительно твердый окислитель – перхлорат аммония. При этом твердый окислитель распределяется по длине заряда таким образом, чтобы уменьшающаяся по длине канала плотность потока окислителя компенсировалась введенным в состав твердотопливного заряда твердого окислителя [6].

Гибридный ракетный двигатель с оптимизированным зарядом обеспечивает равномерность и высокую полноту сгорания твердотопливного заряда, и, соответственно, высокие значения удельной тяги двигателя.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

Литература

1. Головков Л.Г. Гибридные ракетные двигатели. М. : Воениздат, 1976. 168 с.
2. Chiaverini V.J., Kuo K.K. Fundamentals of Hybrid Rocket Combustion and Propulsion. Volume 218 of AIAA Progress in Astronautics and Aeronautics. AIAA, USA, 2007. 648 p.
3. Губертов А.М., Миронов В.В., Голлендер Р.Г. и др. Процессы в гибридных ракетных двигателях. М. : Наука, 2008. 405 с.
4. Патент РФ № 2359145, МПК F02K 9/72. Гибридный ракетный двигатель / А.М. Губертов, В.В. Миронов, Р.Г. Голлендер, Н.А. Давыденко, Н.Н. Волков, С.М. Цацуев; опубл. 20.06.2009 г, бюл. № 17.
5. Патент РФ № 2070652, МПК F02K 9/08. Гибридный ракетный двигатель / В.Н. Виноградов, А.Г. Стаценко, Ю.Г. Лобанов, А.Л. Михейчик, А.Г. Нятин; опубл. 20.12.1996 г.
6. Патент РФ № 2569960, МПК F02K 9/72. Гибридный ракетный двигатель / В.А. Архипов, С.С. Бондарчук, А.Б. Ворожцов, А.С. Жуков, Б.В. Певченко, Л.А. Савельева; опубл. 10.12.2015 г, бюл. № 34.

DOI: 10.17223/9785946215596/27

OPTIMIZATION OF HYBRID SOLID-PROPELLANT CHARGE OF THE ROCKET ENGINE

V.A. Arkhipov, S.S. Bondarchuk, A.B. Vorozhtsov, A.S. Zhukov, N.N. Zolotorev, B.V. Petchenko, L.A. Savelieva

National Research Tomsk State University, Tomsk

Hybrid rocket engine (HRE) belongs to the class of propulsion systems working on dual fuel and includes charge of solid combustible material (SCM) burning in a flow of gaseous or atomized liquid oxidazer [1]. At the present time HRE is not use as power plants production aircraft. In the last decade due to intensification of space programs has increased the volume of publications in the field of study of workflows in hybrid diagrams of rocket engine [2-5]. HRE has many advantages compared to liquid (LRE) and solid propellant (SPRE) rocket engines.

Compared to (LRE) the hybrid engine has a simple design, with no cooling of the combustion chamber, low cost and short production cycle. Compared to solid fuels engine has low cost of the fuel components and the lack of explosives in the composition. insensitivity to flaws in the solid propellant charge (cracks or cavities), higher values of specific impulse of thrust, the possibility of traction control and multiple inclusion.

Advantages allow to use the HRE as a space propulsion systems for different purposes – from traction engines to rocket engines regulated system of guidance, control, landing, etc. For the practical implementation of the engine is necessary to provide high energy characteristics allowing to reduce the cost of launching and sending spacecraft.

To optimize the charge of solid fuel it is suggested to introduce an additional solid oxidizer, ammonium perchlorate. Solid oxidizer is distributed along the length of charge. Hybrid rocket engine with optimized charge provides a uniform and high completeness of combustion of solid propellant charge and, accordingly, high values of specific impulse of the engine.

This work was supported by Ministry of Education and Science under the Federal Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014-2020», the agreement № 14.578.21.0034, unique identifier PNI RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/28

ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ЗАЖИГАНИЯ ПИРОКСИЛИНА

В.А. Архипов[1], В.Е. Зарко[2], Н.Н. Золоторев[1], А.Г. Коротких[3], В.Т. Кузнецов[1]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск,
[2]Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск
[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Изучение процесса зажигания твердых топлив обычно проводится в простейших условиях подвода тепла: это постоянство температуры или теплового потока на поверхности, то есть в так называемом «статическом режиме» [1–5]. В реальных условиях, как правило, зажигание осуществляется при переменных, зависящих от времени, значениях теплового потока. Формирование прогретого слоя в данном случае осуществляется в усложненных динамических условиях и существенно зависит от режима изменения теплового потока в период нагрева исследуемого образца (индукционный период) [1].

Характеристики динамических режимов зажигания имеют практическое значение при использовании источников энергии с заданным ее содержанием. В качестве модельного твердого топлива выбран пироксилин как наиболее изученное вещество с известными кинетическими и теплофизическими характеристиками [2]. Получены времена задержки зажигания пироксилина в условиях нагрева возрастающим тепловым потоком в диапазоне от 0,2 Вт/см^2 до 22 Вт/см^2.

Опыты проводили с использованием оптической печи «Уран-1». Динамический режим теплового потока обеспечивался путем перемещения исследуемого образца в период его нагрева световым потоком вдоль оптической оси эллиптического отражателя, установки «Уран-1». С этой целью использовали электромеханическое устройство, позволяющее перемещать исследуемый образец со скоростью 4,75 см/с. Темп изменения теплового потока определялся скоростью передвижения образца. Погрешность измерения плотности теплового потока не превышала 10%.

Представлены результаты экспериментального исследования зажигания пироксилина при нагреве возрастающим потоком излучения в диапазоне (0,2÷22) Вт/см^2. Проведено сравнение времен задержки зажигания при нагреве образцов переменным и постоянным тепловым потоком. Полученные данные показали, что в исследованном диапазоне плотности теплового пото-

ка воспламеняемость пироксилина в динамических условиях нагрева выше, чем в статических. Физическая интерпретация полученных результатов требует дополнительных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

Литература

1. Merzhanov A.G., Averson A.E. The present state of the thermal ignition theory. An invited review // Combustion and Flame. 1971. V. 16, № 1. P. 89–124.
2. Вилюнов В.Н., Кузнецов В.Т., Скорик А.И. Воспламенение пироксилина световым потоком высокой интенсивности // Горение и взрыв. М. : Наука, 1977. С. 278–281.
3. Гусаченко Л.К., Зарко В.Е., Рычков А.Д. Зажигание и гашение гомогенных энергетических материалов световым импульсом // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, № 1. С. 80–88.
4. Архипов В.А., Бондарчук С.С., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т., Громов А.А., Волков С.А., Ревягин Л.Н. Влияние дисперсности алюминия на характеристики зажигания и нестационарного горения гетерогенных конденсированных веществ // Физика горения и взрыва. 2012. Т. 48, № 5. С. 148–159.
5. Еналиев Р.Ш., Матеосов В.А., Синаев К.И., Диновецкий Б.Д., Гаинутдинов Р.Ш. Экспериментальное исследование процесса зажигания конденсированных веществ при динамических условиях подвода лучистой энергии // Физика горения и методы ее исследования. 1973. С. 80–86.

DOI: 10.17223/9785946215596/28

DYNAMIC REGIME OF IGNITION OF GUN-COTTON

V.A. Arkhipov[1], V.E. Zarko[2], N.N. Zolotorev[1], A.G. Korotkikh[3], V.T. Kuznetsov[1]
[1]National Research Tomsk State University, Tomsk
[2]Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk
[3]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Studying of process of ignition of solid fuels is usually carried out in the simplest terms heat supply: it is the constancy of temperature or heat flux at the surface, i.e. in the so-called "static regime" [1–5]. In real conditions, as a rule, the ignition is carried out at a variable, time-dependent values of heat flux. The formation of the warm layer in this case is carried out in complicated dynamic conditions and significantly depends on the regime of changes in heat flux during the period of heating of the investigated sample (the induction period) [1].

Characteristics of dynamic regimes of ignition are of practical importance in the use of energy sources with given its content. Gun-cotton was selected as a model of solid fuel since it is the most studied substance with known kinetic and thermal characteristics [2]. The delay times of the ignition of gun-cotton in the heating conditions of increasing heat flux in the range from 0.2 W/cm^2 to 22 W/cm^2 are obtained.

The experiments were carried out using an optical furnace Uran-1. Dynamic regime heat flux was provided by moving the test sample during its heating heat flux along the optical axis of the elliptic reflector, the installation of "Uran-1". For this purpose, the electromechanical device was used that moves the sample at a speed of 4.75 cm/s. The rate of change of the heat flow was determined by the speed of movement of the sample. The measurement error of the heat flux does not exceed 10%.

The results of experimental study of ignition of gun-cotton at heating by means of increasing the radiation flux in the range (0.2÷22) W/cm^2 has been presented. A comparison of the delay times of the ignition at heating of the samples with variable and constant heat flux was performed. The data obtained has shown that in the investigated range of heat flux, the flammability of gun-cotton in dynamic heating conditions is higher than in static. Physical interpretation of the obtained results requires additional research.

This work was supported by Ministry of Education and Science under the Federal Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014-2020», the agreement № 14.578.21.0034, unique identifier PNI RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/29

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЕНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКАХ

А.В. Литвинов[1], А.В. Курбатов[1], Д.Д. Аксененко[1], В.Ю. Михальцов[1], Д.И. Ваулин[1], В.Б. Жаринов[1], В.А. Архипов[2], И.К. Жарова[2]

[1]Акционерное общество «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск
[2]Научно-исследовательский институт прикладной математики и механики Национального исследовательского Томского государственного университета, г. Томск

Проведены исследования горения высокоэнергетических материалов (ВЭМ) при их обдуве высокотемпературными и низкотемпературными трансзвуковыми воздушными потоками.

Схема экспериментальной установки (ЭУ) представлена на рис. 1.

Принцип работы установки основан на обдуве образцов ВЭС высокотемпературным потоком воздуха. Нагревание потока воздуха, поступающего из баллона высокого давления в камеру смешения, до температуры 1800 К осуществляется как за счет его смешения с ПС ТТ, так и за счет экзотермических реакций окисления водорода H_2 и окиси углерода CO, присутствующих в ПС, кислородом из воздушного потока.

Экспериментально установленные зависимости изменения средней температуры газовой смеси в камере смешения $T_{\text{КСм}}$ и содержания в ней кислорода φ_{O_2} от соотношения расхода воздуха из баллона к расходу ПС из газогенератора $G_{\text{ПС}}$ показаны на рис. 2.

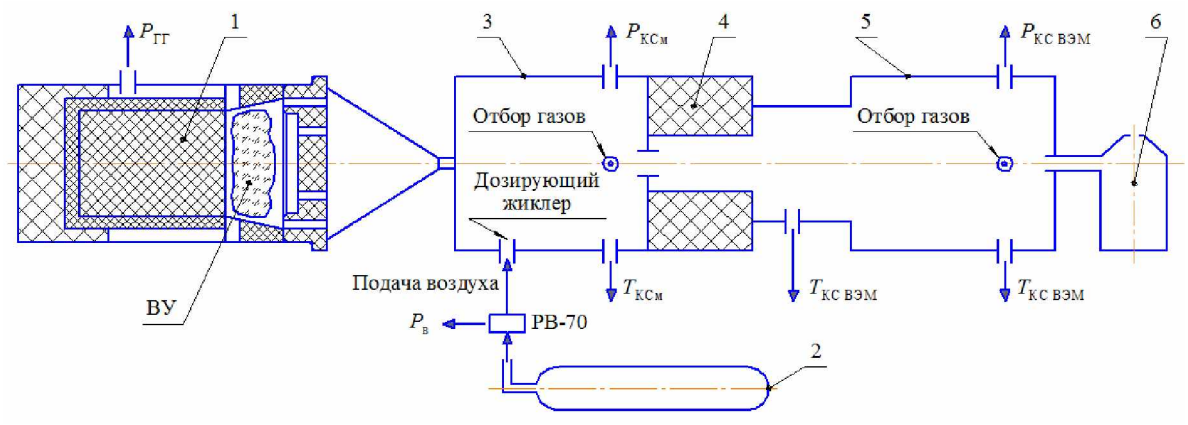
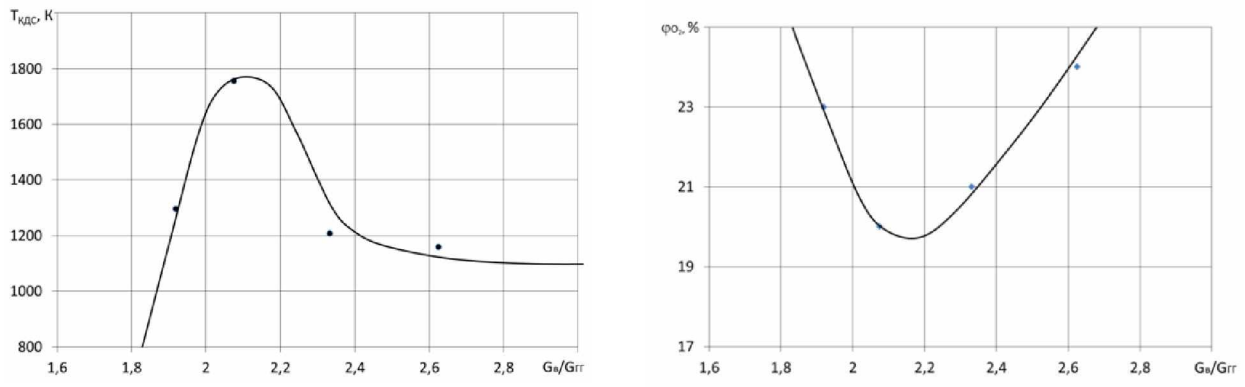


Рис. 1. Схема ЭУ для исследования горения ВЭМ:
1 – газогенератор продуктов сгорания (ПС) твердого топлива (ТТ); 2 – баллон со сжатым воздухом;
3 – камера смешения ПС с воздухом; 4 – образец ВЭМ; 5 – камера сгорания ВЭМ;
6 – отбор конденсированной фазы



а) б)

Рис. 2. Зависимость средней температуры в камере смешения и содержание в ней кислорода от соотношения $(G_♦/G_{♦♦})$

Можно видеть, что зависимость $T_{КСм} = f\left(G_в/G_{ПС}\right)$ характеризует наличие максимума ($T_{КСм} \approx 1750$ К) в диапазоне значений аргумента $\left(G_в/G_{ПС}\right)$ от 2,05 до 2,15. Этому же диапазону изменения аргумента соответствует и минимум функции φ_{O_2} (~ 20 %).

Таким образом, состав газовой смеси на входе в камеру сгорания ВЭМ максимально приближен к параметрам воздуха в воздухозаборном устройстве (ВЗУ), и его подогрев до высоких температур является самым эффективным и малозатратным. Это позволило приступить к исследованию воспламенения и горения ВЭМ при высокотемпературном и низкотемпературном их обдуве воздушными потоками.

Результаты испытаний одного из образцов ВЭМ представлены на рис. 3.

Результаты испытаний показали устойчивое воспламенение ВЭМ при высокотемпературном обдуве и стабильный характер горения после воспламенения в режимах высокотемпературного и низкотемпературного обдува высокоскоростными воздушными потоками в камере сгорания ВЭМ.

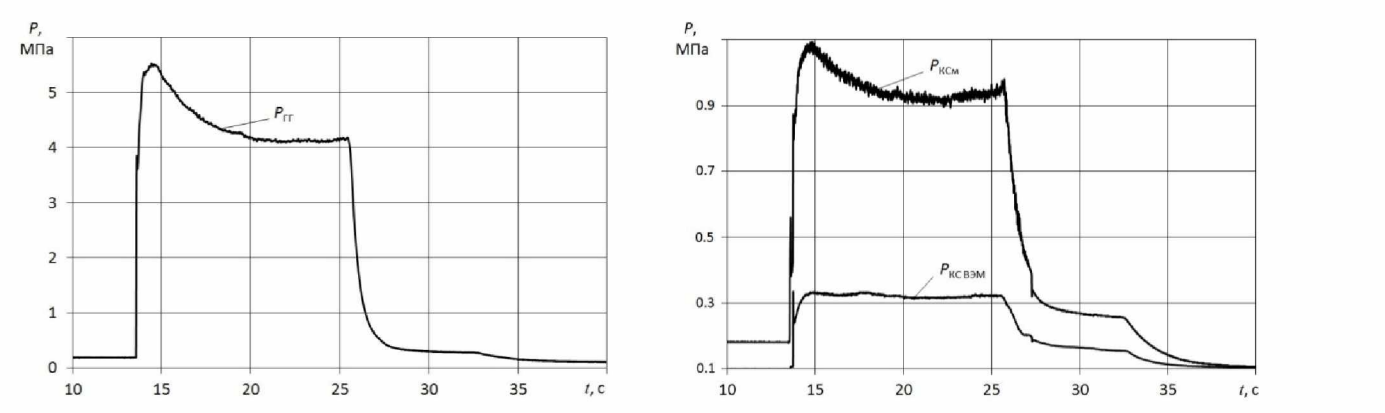


Рис. 3. Диаграммы $P(t)$: $P_{ГГ}$ – давление в газогенераторе; $P_{КСм}$ – давление в камере смешения; $P_{КС\ ВЭМ}$ – давление в камере сгорания с образцом ВЭМ

Важным этапом в исследовании горения ВЭМ является моделирование структуры и параметров высокоскоростных воздушных потоков.

Экспериментальное исследование проводилось в НИИ ПММ ТГУ с использованием модельной аэродинамической установки (МАУ) разработки ИТПМ СО РАН [1].

Схема модернизированной МАУ показана на рис. 4.

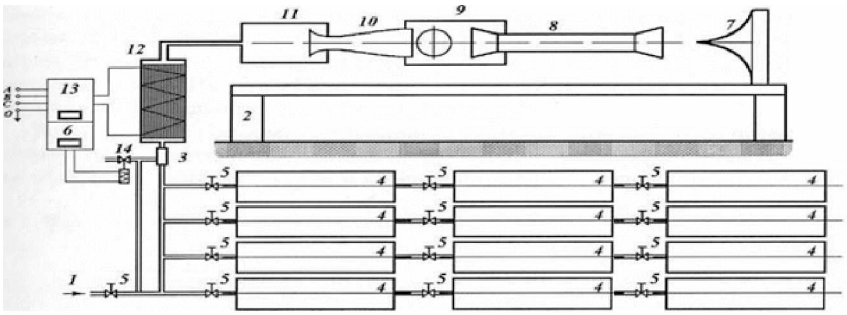


Рис. 4. Схема МАУ: 1 – система подвода воздуха; 2 – рама; 3 – основной клапан диаметром 19 мм; 4 – баллоны со сжатым воздухом суммарным объемом 480 дм^3; 5 – механические вентили; 6 – пульт управления; 7 – рассекатель; 8 – диффузор диаметром140 мм; 9 – рабочая камера; 10 – профилированные сопла диаметром 100 мм; 11 – форкамера объемом 7 дм^3; 12 – электрический нагреватель; 13 – источник электропитания мощностью 20 кВт; 14 – управляющий клапан

Для адаптации МАУ применительно к задачам исследований структуры и основных параметров сверхзвуковых воздушных потоков изготовлены и интегрированы в МАУ плоская и осесимметричная модели ВЗУ и проточной части камеры сгорания, геометрическое подобие которых позволи-

ло осуществлять оптические съемки сверхзвуковых течений (плоская модель) и измерять параметры воздушных потоков (осесимметричная модель), соответствующие схеме на рис. 5.

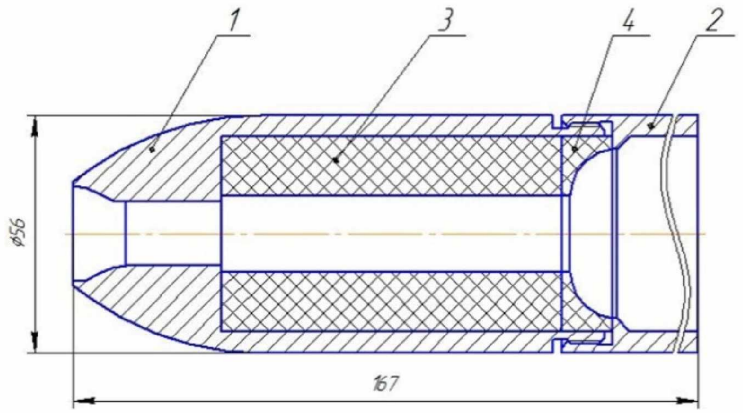
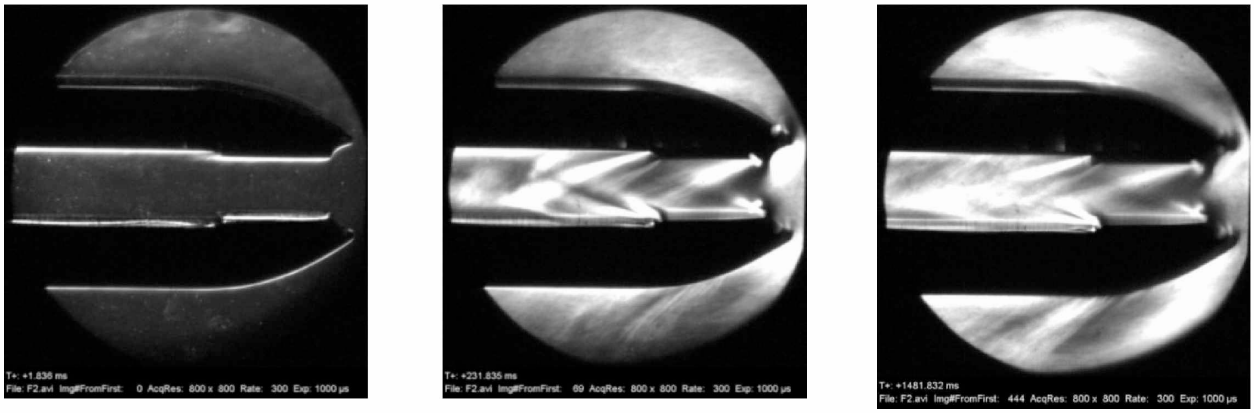


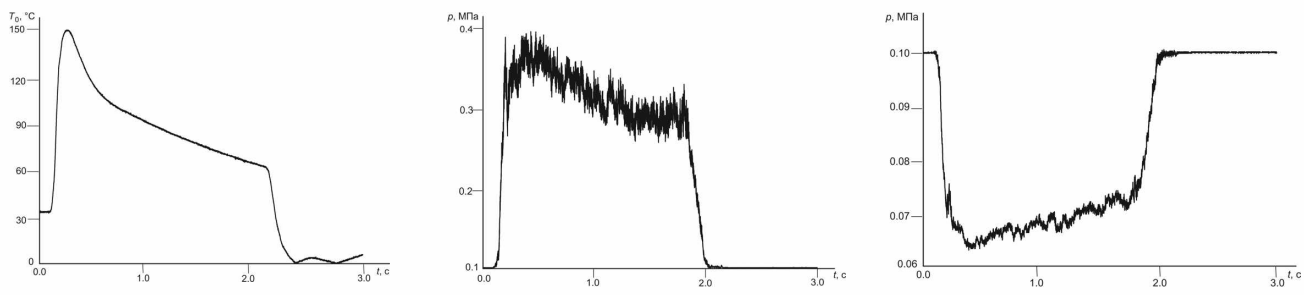
Рис. 5. Схема плоской и осесимметричной моделей: 1 – корпус с ВЗУ; 2 – выходной патрубок; 3 – вкладыш имитатора ВЭМ; 4 – прижимная шайба

Разработанная методика экспериментальных исследований апробирована при проведении оптических съемок сверхзвуковых течений и визуализации косых скачков уплотнения в проточном тракте плоской модели (рис. 6), измерении температуры торможения, динамического и статического давлений в осесимметричной модели при числе Маха M = 5 на входе в ВЗУ (рис. 7).



t ~ 0.00 с *t* ~ 0.23 с *t* ~ 2.05 с

Рис. 6. Кадры видеосъемки обтекания плоской модели при M = 5



а *б* *в*

Рис. 7. Результаты измерений: температуры торможения (а); динамического (б) и статического давлений (в) в проточном тракте осесимметричной модели при M = 5

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке математических моделей горения ВЭМ в высокоскоростных воздушных потоках.

Литература

1. Звегинцев В.И. Газодинамические установки кратковременного действия. Часть 1: Установки для научных исследований. Новосибирск : Параллель, 2014. 551 с.

DOI: 10.17223/9785946215596/29

EXPERIMENTAL FACILITIES TO STUDY THE BURNING OF HIGH-ENERGY MATERIALS IN HIGH-SPEED AIRFLOW

A.V. Litvinov[1], A.V. Kurbatov[1], D.D. Aksyonenko[1], V.Yu. Mikhaltsov[1], D.I. Vaulin[1], V.B. Zharinov[1], V.A. Arkhipov[2], I.K. Zharova[2]

[1]JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

[2]Research Institute of Applied Mathematics and Mechanics of TSU, Tomsk

Study on high-energy materials (HEM) burning while their blowing with high-temperature and low-temperature transsonic airflow was carried out.

Experimental facility (EF) diagram is given in Figure 1.

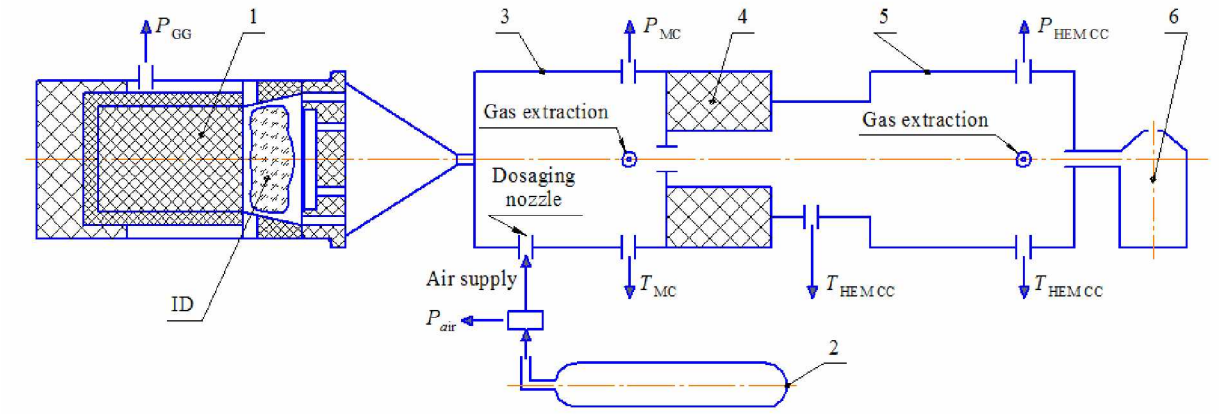


Fig. 1. EF diagram to study the burning of HEM: 1 – gas generator of combustion products (CP) of solid propellant (SP); 2 – compressed air flask; 3 – CP mixing chamber; 4 – HEM sample; 5 – HEM combustion chamber; 6 – condensed phase extraction

The principle of operation is based on blowing the HEM samples with high-temperature airflow. The heating of airflow, coming from high pressure flask into the mixing chamber up to a temperature of 1800 K, is due to its mixing with SP CP, as well as the exothermic reactions of oxidation of hydrogen H_2 and carbon monoxide CO, being in CP, with oxygen from airflow.

The experimentally determined dependences of changes of gas mixture average temperature in the mixing chamber T_{MC} and oxygen content in it φ_{O_2}, from the ratio of air flow rate from the flask to the consumption CP from gas generator G_{GG}, are shown in Figure 2.

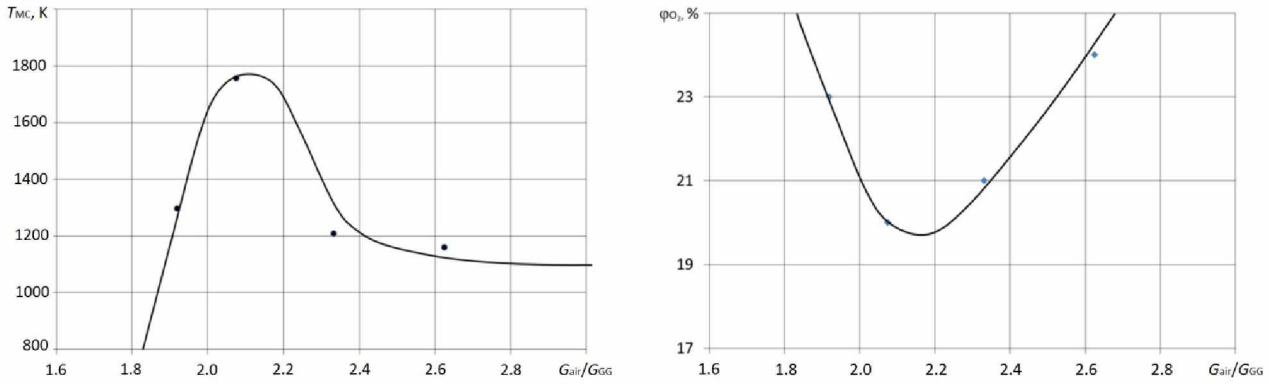


Fig. 2. Dependence of average temperature in mixing chamber and oxygen content in it from the ratio $\left(G_{air}/G_{GG}\right)$

It can be seen that the dependence $T_{MC} = f\left(G_{air}/G_{GG}\right)$ defines maximum ($T_{MC} \approx 1750$ K) in the range of an argument $\left(G_{air}/G_{GG}\right)$ from 2.05 to 2.15. The same is with function minimum φ_{O_2} (~ 20 %).

Thus, the gas mixture composition at input into the HEM combustion chamber is close to air parameters inside the air intake device (AID), and its heating up to high temperatures is the most efficient and cost-effective. This allowed study the ignition and burning of HEM under high-temperature and low-temperature airflow blowing.

The study results of one of the HEMs samples are given in Figure 3.

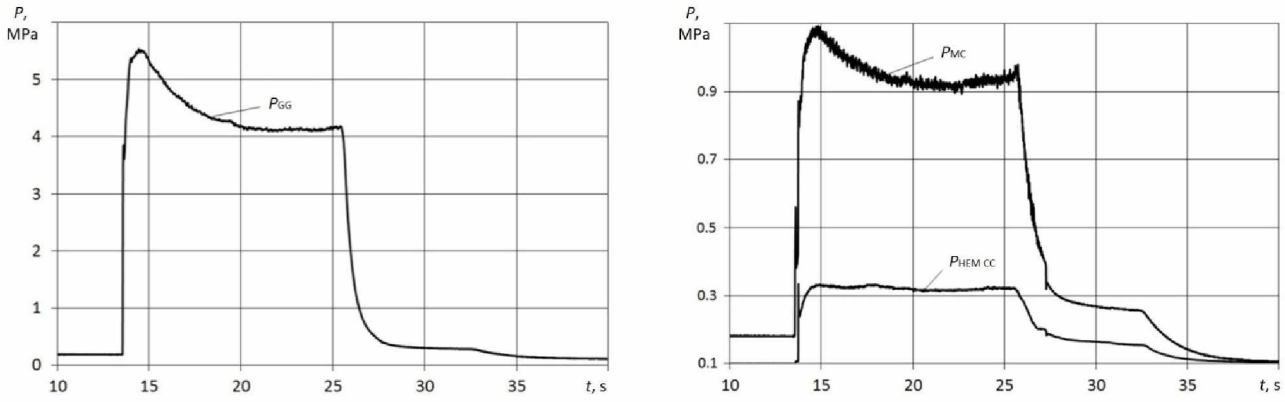


Fig. 3. Diagram $P(t)$: P_{GG} – pressure in gas generator; P_{MC} – pressure in mixing chamber; $P_{HEM\ CC}$ – pressure in combustion chamber with HEM sample

The results of tests showed a steady ignition of HEM under high-temperature blowing and stable burning after ignition at high temperature and low temperature blowing modes with high speed airflow in HEM combustion chamber.

Modeling of the structure and high speed airflow parameters is the important stage when studying HEM burning.

Experimental study was conducted at RI AMM TSU with the usage of model aerodynamic plant (MAP) developed at ITAM SB RAS [1].

The improved MAP diagram is given in Figure 4.

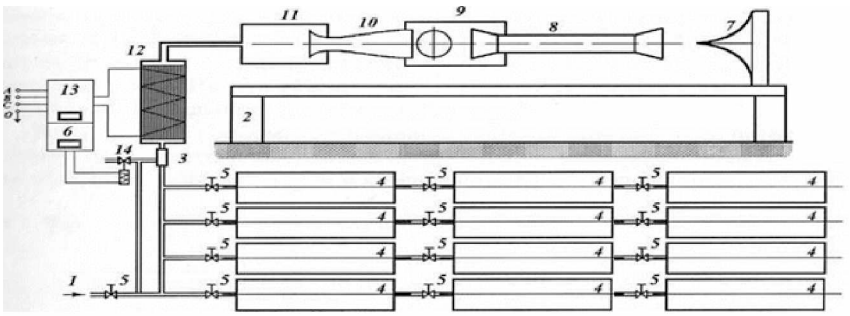


Fig. 4. MAP diagram: 1 – air input system; 2 – frame; 3 – main valve with 19 mm diameter; 4 – air compressed flasks with total volume 480 dm^3; 5 – mechanical valves; 6 – control board; 7 – splitter; 8 – diffuser with 140 mm diameter; 9 – operating chamber; 10 – profiled nozzles with 100 mm diameter; 11 – precombustion chamber with volume 7 dm^3; 12 – electrical heater; 13 –20 kWt power supply source; 14 – control valve

Axially symmetric and plane models of AID were made and integrated in MAP in order to adopt MAP in regard to the structure research and study of the main parameters of the supersonic airflow, as well as the flow part of the combustion chamber, which geometric similarity allowed performing optical survey of supersonic flows (plane model) and measuring airflow parameters (axisymmetric model) corresponding to the diagram given in Figure 5.

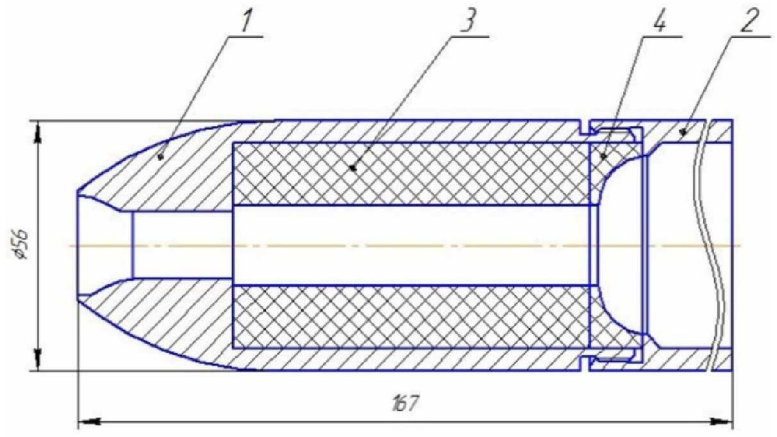


Fig. 5. Diagram of axially symmetric and plane models: 1 – case with AID; 2 – outlet fitting; 3 – HEM simulator insert; 4 – clamp washer

The developed method of experimental research was tested during optical survey of supersonic flows and visualization of oblique shocks in the flow channel of the plane model (Figure 6), as well as during measuring of breaking temperature, dynamic and static pressure in the axisymmetric model at Mach number M = 5 at input into AID (Figure 7).

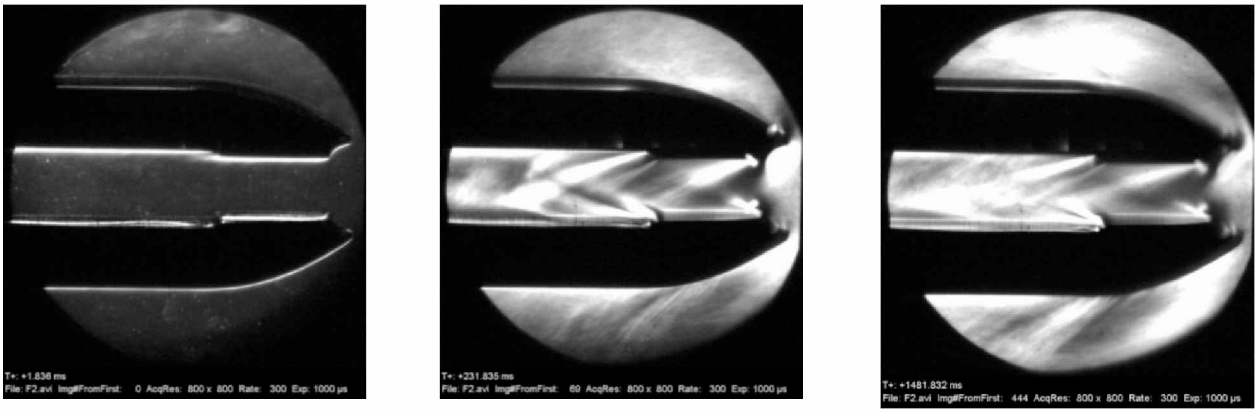


Fig. 6. Images of plane model flow at M = 5

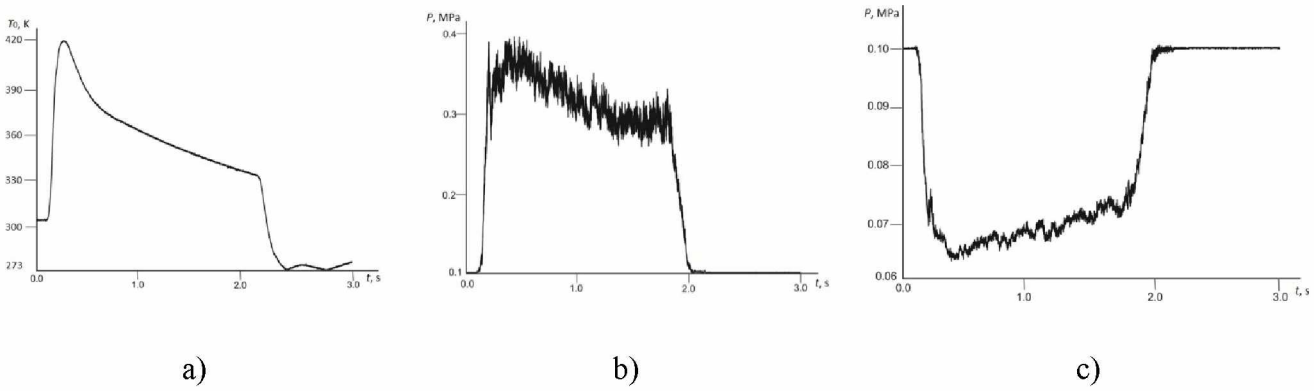


Fig. 7. Measurement data: braking temperature (a); dynamic pressure (b) and static pressure (c) in flow channel of the axisymmetric model at M = 5

The obtained results can be used to develop mathematical simulation models of HEM burning in high-speed airflow.

References

1. Zvegintsev V.I. Short-term gas-dynamic plants. Part 1. Facility for scientific research. Novosibirsk : Parallel, 2014. 551 p.

DOI: 10.17223/9785946215596/30

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ, СОДЕРЖАЩЕЙ 3-МЕТАКРИЛОКСИСУЛЬФОЛАН, ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ НА ХИРУРГИЧЕСКИЕ ЭНДОПРОТЕЗЫ И НЕРАССАСЫВАЮЩИЕСЯ ПОЛИМЕРНЫЕ НИТИ В ВИДЕ НАНО- И УЛЬТРАТОНКИХ ВОЛОКОН, ДЛЯ РЕКОНСТРУКТИВНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ ХИРУРГИИ

Н.И. Люкшенко, В.В. Полящук, Р.Г. Никитин

АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Для предупреждения достаточно часто встречающихся послеоперационных раневых инфекционных осложнений нами были созданы сетчатые протезы с антимикробными свойствами, содержащие полусинтетичекие антибиотики пенициллинового ряда, применяемые для оперативного лечения послеоперационных вентральных грыж. Одной из простейших композиций для нанесения на хирургические эндопротезы и нерассасывающиеся полимерные нити является спиртовой раствор спирторастворимого антибиотика или смеси антибиотиков, например, эритромицина или левомицитина, где в течение 22…24 ч происходит импрегнация синтетических волокон указанными химиопрепаратами, после чего трансплантат просушивают на воздухе и помещают на короткое время в 7%-й ацетоновый раствор медицинского клея «Сульфакрилат». При имплантации протеза на рану покрывающий синтетические волокна полимер биодеградирует, обеспечивая длительное порционное освобождение антибиотиков в окружающие ткани, что создает местную антибактериальную среду. Одним из преимуществ антибиотиков состоит в их высокой активности, специфичности, растворимости в тканевых жидкостях, быстрой всасываемости и распределении по организму, эффективной биотрансформации. Однако однообразный «антибиотический прессинг» является основной причиной беспрецедентного нарастания устойчивости микроорганизмов, особенно грамотрицательных, и соответственно снижения клинической эффективности базовых антибиотиков. Поэтому большинство перечисленных выше преимуществ химиопрепаратов при парентеральном введении превращаются в недостатки при их местном применении.

Таким образом, антибиотики принципиально не могут использоваться при изготовлении любого полимерного медицинского изделия с противомикробными свойствами, в том числе сетчатого протеза для герниопластики с антимикробными свойствами.

В этой связи актуален поиск возможности придания антимикробных свойств любому полимерному медицинскому изделию без использования антибиотиков. В данной работе рассмотрена технология получения антимикробных эндопротезов для реконструктивно-восстановительной хирургии, включающая в себя обработку и сушку при температуре 20…25°С сетчатых материалов из синтетических полимерных волокон, выработанных трикотажным способом на основовязальных машинах, из поливинилиденфторидных и полипропиленовых мононитей. Сетчатый эндопротез обрабатывают полимерной композицией, содержащей два водорастворимых полимера, органический растворитель и 3-метакрилоксисульфолан – противовоспатительное, обладающее антимикробным действием вещество. Технология нане-

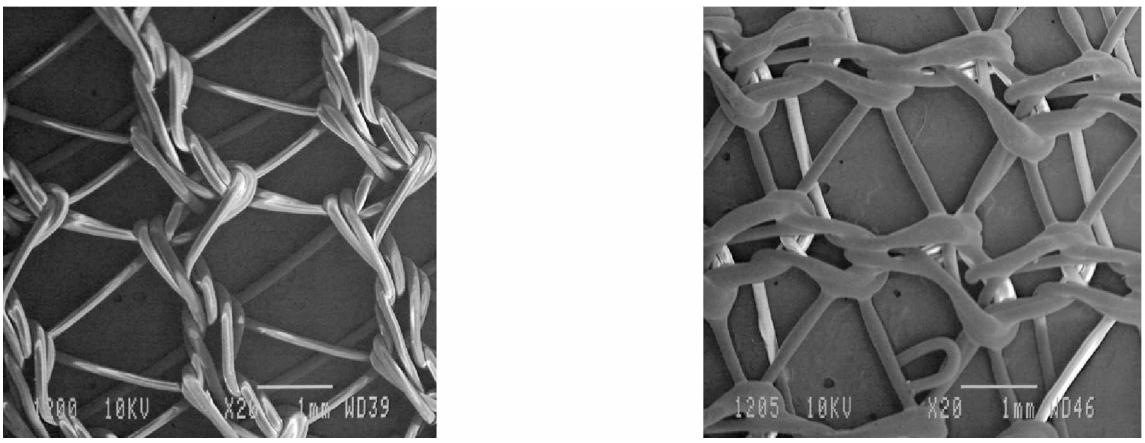
сения полимерной композиции на сетчатый эндопротез отрабатывалась по бескапиллярному методу компании «ELMARCO» (Чехия) на установке Nanospider^{TM} NS 1WS500U (рис. 1). К его достоинствам можно отнести высокую производительность процесса электроформования, осуществляемого либо с поверхности электрода, находящегося в прядильном растворе, либо с вращающегося диска, куда подается раствор полимера, который при срыве с краев диска в электростатическом поле образует струи раствора, переходящие в полимерные волокна. Поверхность электрода непрерывно омывается прядильной полимерной композицией, и электрическое поле самопроизвольно регулирует количество и взаимное расположение струи наиболее оптимальным образом. Однако в этом случае возможен небольшой разброс волокон по диаметру.



Рис. 1. Установка Nanospider^{TM} NS 1WS500U

В результате экспериментальных исследований нами была разработана технология достижения оптимального соотношения компонентов в полимерной композиции, позволяющая получать волокна диаметром от 10 нм бескапиллярным методом. На рисунке 2 показана микроповерхность сетчатого эндопротеза до обработки полимерной композицией и после неё. Состав полимерной композиции, % масс.: поливинилпирролидон 8…10; 3-метакрилоксисульфолан 10…15; органический растворитель 82…75. Введение в покрытие сетчатого протеза 3-метакрилоксисульфолана в концентрации 10% с диаметром волокон 10 Нм придает ему выраженную антимикробную активность. Хотя при более тщательном изучении наблюдается небольшой разброс диаметров волокон.

Антимикробное действие исследуемых сетчатых эндопротезов оценивали в ООО «Линтекс» (г. Санкт-Петербург). Были опробованы различные варианты собирающихся прядильных электродов и различные режимы работы Nanospider^{TM} NS 1WS500U. Отработаны скорость движения каретки электрода, скорость подачи материала по подложке, разность потенциалов между электродами.



а *б*

Рис. 2. Сетчатый эндопротез до обработки (*а*) и после нанесения полимерной композиции (*б*)

Дальнейшие исследования мы видим, прежде всего, в получении противоспаечных мембран на основе полимерных композиций.

Литература

1. Дружинин Э.Д. Производство и свойства фильтрующих материалов Петрянова из ультратонких полимерных волокон / под ред. Б.И. Огородникова. М. : ИздАТ, 2007. 280 с.
2. Тец В.В. Микроорганизмы и антибиотики. Сепсис. СПб. : Эскулап, 2003. 154 с.
3. Жуковский В.А. Современное состояние и перспективы разработки и производства биологически активных волокнистых материалов медицинского назначения // Химические волокна. 2005. № 5. С. 32–35.
4. Зайцев А. А. Левофлоксацин в лечении хирургических и генерализованных инфекций // Инфекции в хирургии. 2005. Т. 1, № 1. С. 1–5.
5. Патент 2126694 C1 27.02 (RU). Способ получения трансплантата с противомикробными действиями для герниопластики / В.В. Плечев, П.Л. Корнилаев, Р.Р. Шавалеев, З.Я. Муртазин. 1999.

DOI: 10.17223/9785946215596/30

OBTAINING POLYMER COMPOSITIONS CONTAINING 3-METHACRYLOXYSULFOLANE, FOR APPLICATION TO SURGICAL IMPLANTS AND NON-RESORBABLE POLYMER FILAMENTS IN THE FORM OF NANO- AND ULTRAFINE FIBERS FOR RECONSTRUCTIVE SURGERY

N.I. Lutsenko, V.V. Polasek, R.G. Nikitin
JSC "Federal research and production center "Altai", Biysk

To prevent a quite common cause of postoperative wound infection we have created a mesh prostheses with antimicrobial properties, containing polusinteticheskie the antibiotic penicillin, used for surgical treatment of postoperative ventral hernias. One of the simplest compositions for application to surgical implants and non-resorbable polymeric filament is alcohol solution of alcohol-soluble

antibiotic or mixture of antibiotics, e.g., erythromycin or levomitsetina, where for 22...24 h impregnation of synthetic fibers specified chemotherapy, then the transplant is dried in air and placed for a short time a 7% acetone solution medical glue Sulfacrylate. During implantation of the prosthesis into the wound covering of synthetic fiber biodegradable polymer, providing a sustained release portion of the antibiotic into the surrounding tissue, which creates a local antibacterial environment. One of the benefits of antibiotics lies in their high activity, specificity, solubility in tissue fluids, quick absorbability and distribution throughout the body, an effective biotransformation. However monotonous "antibiotic pressure" is the main cause of the unprecedented increase of resistance of microorganisms, especially gram-negative, and respectively decreasing clinical effectiveness of antibiotics underlying. Therefore, the majority of the above-listed advantages of chemotherapy for parenteral administration turn into disadvantages when they are applied topically.

Thus, antibiotics should not be used in the manufacture of any polymeric medical devices with antimicrobial properties including mesh prosthesis for hernioplasty with antimicrobial properties.

In this regard, the actual search of the ability to impart antimicrobial properties to the polymer of any medical product without the use of antibiotics. In this paper, the technology of production of antimicrobial implants for reconstructive surgery, including treatment and drying at a temperature of 20...25 °C net material made of synthetic polymer fibers, knit developed a way to warp knitting machines, of polyvinylidenfluoride and polypropylene monofilaments. Mesh endoprosthesis is treated with a polymer composition comprising two water soluble polymer, organic solvent and 3-methacryloxypropyl – protivovospalitelnoe with antimicrobial action stuff. Technology of applying polymer composition on the mesh endoprosthesis buscapersonas worked out by method of the company ELMARCO (Czech Republic) on installation NanospiderTM NS 1WS500U (figure 1). Its advantages include high productivity of the process of electrotorture carried out either from the surface of the electrode in the spinning solution, or with a rotating disk, which served a polymer solution, which with the disruption from the edges of the disk in the electrostatic field forms a jet of solution into the polymer fibers. The electrode surface is continuously washed by spinning a polymer composition, and electric field spontaneously regulates the number and positioning of jets in an optimal manner. In this case, however, there is a slight variation of the fiber diameter.



Fig. 1. Installation NanospiderTM NS 1WS500U

In result of experimental research we have developed the technology to achieve the optimum ratio of components in the polymer composition, allowing to obtain a fiber with a diameter of 10 nm buscapersonas method. Figure 2 shows micropowered mesh of the prosthesis before treatment with the polymer composition and thereafter. The composition of the polymer composition, wt.%: polyvinylpyrrolidone 8...10; 3-methacryloxypropyl 10...15; an organic solvent 82...75. Introduction to the mesh coating of the prosthesis 3-methacryloxysulfolane at a concentration of 10% with a fiber diameter of 10 Nm gives it a pronounced antimicrobial activity. Although a more thorough study, there is a slight variation of the diameters of the fibers.

Antimicrobial action of the studied mesh implants was evaluated in LLC "linteks, OOO (Saint Petersburg). We have tested different options for gathering the spinning electrodes and different modes of operation NanospiderTM NS 1WS500U. Worked out the speed of movement of the carriage and the electrode feeding speed of the material on the substrate, the potential difference between the electrodes.

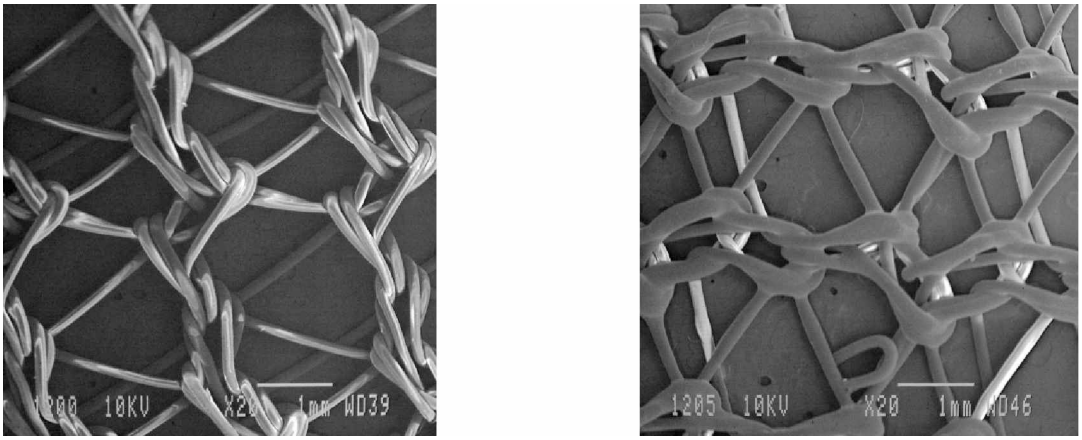


Fig. 2. Mesh endoprosthesis prior to treatment (*a*) and after application of the polymer composition (*b*)

Further research we see, first of all, in obtaining anti-adhesive membranes based on polymer compositions.

References

1. Druzhinin, E. D., Production and properties of filter materials petranova of ultra-thin polymer fibers / ed. by B. I. Ogorodnikova. M. : Izdat, 2007. 280 p.
2. TETs VV Microorganisms and antibiotics. Sepsis. SPb. : Eskulap, 2003. 154 p.
3. Zhukovskiy V. A. current state and prospects of development and production of biologically active fibrous materials for medical purposes // Chemical fiber. 2005. No. 5. P. 32–35.
4. Zaitsev A. A. Levofloxacin in the treatment of surgical and generalized infection// Infection in surgery. 2005. Vol. 1, No. 1. P. 1–5.
5. Patent 2126694 27.02 S1 (RU). A method of producing a graft with antimicrobial properties for hernioplasty / V.V. Plechov, P.L. Kornilaev, R.R. Shavaleev, Z.Y. Murtazin. 1999.

DOI: 10.17223/9785946215596/31

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОМ НАГРУЖЕНИИ ИЗДЕЛИЙ РКТ

А.С. Жарков, А.В. Литвинов, И.И. Анисимов, Е.А. Чащихин, В.И. Степанов, Л.С. Поддьякова

АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Опыт изготовления и испытаний, скрепленных с корпусом твердотопливных элементов (ТЭ) изделий ракетно-космической техники (РКТ) показывает, что фактически реализуемая диаграмма изменения внутрикамерного давления при работе двигательной установки (ДУ) может существенно отличаться от проектной. Это потребует проведения корректировки геометрических параметров ТЭ и изменения технологической оснастки для его изготовления. В результате увеличиваются сроки и стоимостные показатели отработки изделия.

Рассогласование расчетных и экспериментальных закономерностей выгорания ТЭ [1] в значительной степени связано с тем, что в процессе эксплуатации и действия внутрикамерного давления происходит деформирование ТЭ (искажение формы щелевых элементов, изменение размеров канала и горящего свода). Изменение геометрии ТЭ в процессе длительного хранения и работы ДУ при расчетном прогнозировании внутрибаллистических параметров, как правило, не учитывается. Вместе с тем, экспериментально установлено, что эксплуатационные нагрузки вызывают существенные деформации ТЭ (табл. 1), которые могут привести не только к изменению (увеличению) уровня, параметров нестационарности внутрикамерного давления [2], но и качественному изменению расходно-тяговых характеристик при работе ДУ.

Наиболее существенные эффекты неоднородности деформирования и формоизменения реализуются в скрепленных с корпусом конструкциях ТЭ канально-щелевого типа (рис. 1).

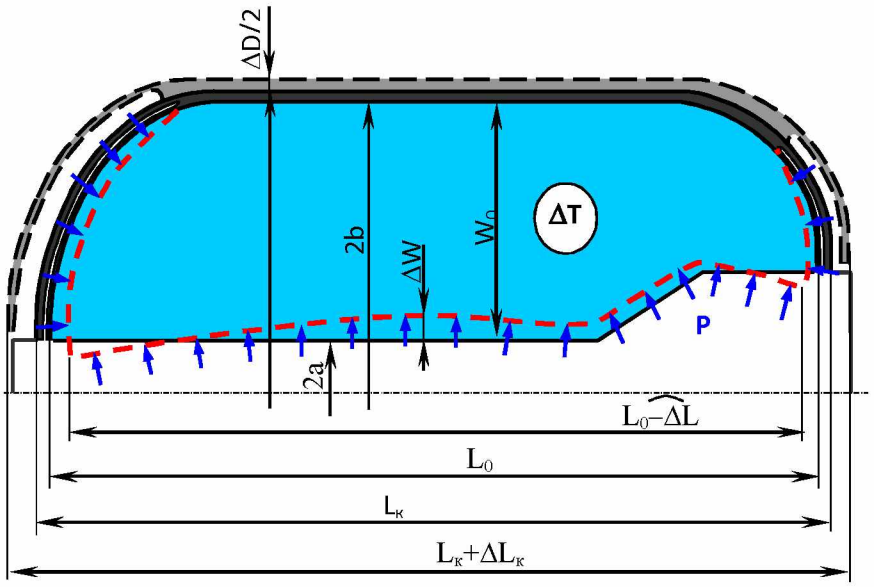


Рис. 1. Деформирование ТЭ при действии эксплуатационных нагрузок и давления (– – – – деформированный контур)

В зонах, прилежащих к раскрепленным торцам, диаметральные размеры канала уменьшаются (область сжатия), в средней по длине части ТЭ размеры канала увеличиваются (область растяжения). Формируется неоднородность горящего свода ТЭ по длине. В толстосводных ($M = \frac{b}{a} = 4{,}5–5{,}5$) изделиях эти эффекты становятся особенно значимыми в части влияния на уровень внутрикамерного давления P и временные характеристики процесса работы ДУ. Особого внимания заслуживает учет особенностей деформирования ТЭ в случае использования материалов, обладающих эффектами газовыделения при длительной эксплуатации.

Таблица 1

Экспериментальные оценки эффектов деформирования и формоизменения скрепленного с корпусом ТЭ канально-щелевого типа при действии основных нагрузок

Характеристика	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Параметр относительного свода (M = b/a)	4,19	3,97	5,56
Удлинение L/b	3,44	4,69	5,13
Деформации корпуса при действии внутреннего давления (P=10,0 МПа): – тангенциальные $\Delta D/D$, % – осевые $\Delta L_к/L_к$, %	 0,74 1,98	 1,26 1,63	 1,00 1,68
Деформация канала ТЭ в среднем сечении $\varepsilon_\theta(a)$, % – температура (ΔT = ±20°C) – давление (P = 10,0 МПа)	 ±3,0 9,72	 ±3,43 16,25	 ±5,1 20,9
Уменьшение начального свода при работе ДУ $\frac{\Delta W}{W_0}$, %	до 3,0	до 4,9	до 4,5
Уменьшение начальной длины ТЭ при работе ДУ $\frac{\Delta L}{L_0}$, %	до 1,5	до 1,8	до 2,4

Из табл. 1 видно, что геометрические параметры ТЭ при его деформировании в условиях работы ДУ уменьшаются на 3–5%. В результате существенно изменяются временной характер и параметры газоприхода в процессе горения ТЭ. В связи с искажением формы щелевых элементов качественно изменяется вид зависимости P(t). Итоговое отклонение фактического давления в камере от расчетного прогноза может достигать 15–20% [2].

Степень деформирования ТЭ зависит от его конфигурации, геометрических характеристик (свода, длины), жесткости и сжимаемости топлива, податливости корпуса, уровня внешних нагрузок:

$$\frac{\Delta W}{W_0} = f(M, L/b, G, K, \frac{\Delta D}{D}, \frac{\Delta L_к}{L_к}, N, ...).$$

Пример влияния на изменение горящего свода геометрических параметров (M) и отклонения равновесной температуры ТЭ от номинальных условий работы ДУ представлен на рис. 2. Зависимости получены расчетно-экспериментальным путем. При этом учитывалось соотношение деформаций оболочки ($\varepsilon_\theta^к$) и канала ($\varepsilon_\theta(a)$) ТЭ:

$$\varepsilon_\theta(a) = \varepsilon_\theta^{\,к} \cdot M^2 \cdot \varphi,$$

где $\varphi = \varphi\left(L/b,\, L_{скр}/L_0,\, M, G, K, \ldots\right)$ – коэффициент разгрузки ТЭ.

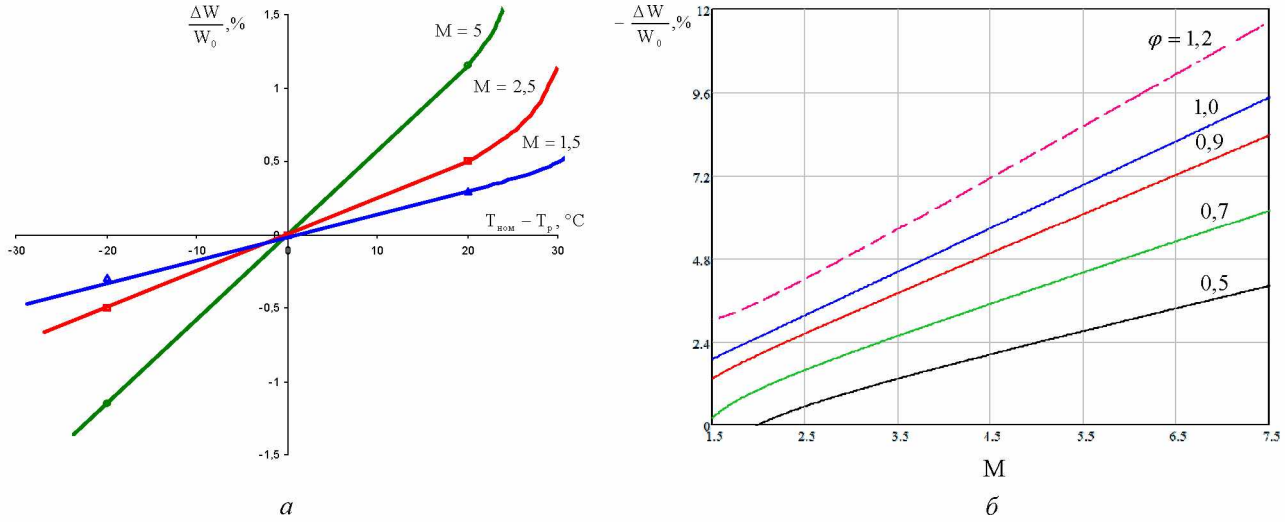


Рис. 2. Влияние равновесной температуры ($T_р$) и геометрических параметров (М) ТЭ на относительное уменьшение горящего свода при действии температурной нагрузки (а) и внутреннего давления (б)

Для теоретического учета обсуждаемых эффектов на этапе проектирования ТЭ и расчетной оценки внутрибаллистических параметров ДУ в настоящее время существуют различные математические модели [1, 2], базирующиеся на решении сопряженной задачи механики деформированного твердого тела и газовой динамики.

Определение количественных параметров и верификация этих моделей осуществляются по результатам специального натурного эксперимента. Для этих целей в АО «ФНПЦ «Алтай» создана методическая и измерительная база, позволяющая проводить полный комплекс таких испытаний, который включает различные режимы нагружения ТЭ инерционными и тепловыми нагрузками в квазистатическом и циклическом режимах, кантование, вибрационные испытания, действие стационарного и импульсного давления в камере ДУ.

Для измерения параметров ТЭ и корпуса используются как стационарные, так и переносные (мобильные) измерительные системы, основанные на различных физических принципах (тензометрические, пьезомеханические, пьезоэлектрические, потенциометрческие, ультразвуковые, оптические и радиоволновые средства измерения). Все они снабжены средствами автоматизированного дистанционного управления и специализированным программным обеспечением, разработанным АО «ФНПЦ «Алтай».

Указанная экспериментальная база позволяет выявлять особенности механического поведения ТЭ при автономном и одновременном действии основных эксплуатационных нагрузок в рамках традиционной экспериментальной отработки изделия РКТ.

Выводы

1. Экспериментально установлено, что изменение геометрических размеров ТЭ современных изделий РКТ в процессе эксплуатации и действии внутрикамерного давления может достигать 5–8%.

2. Учет указанных эффектов деформирования при расчетном прогнозировании процессов выгорания ТЭ позволяет сократить (в 1,5–1,8 раза) погрешности оценки закономерностей изменения расходно-тяговых характеристик при работе ДУ. Сокращаются сроки и стоимостные показатели процесса отработки ТЭ ДУ для изделий РКТ.

Литература

1. Аликин В.Н., Милехин Ю.М., Пак З.П. Пороха, топлива, заряды. Т. 1: Методы математического моделирования для исследования зарядов твердого топлива. М. : Химия, 2003. 216 с.
2. Внутренняя баллистика РДТТ / РАРАН ; А.В. Алиев и др. ; под ред. А.М. Липанова и Ю.М. Милехина ; редкол. серии: В.В. Панов (пред.) и др. М. : Машиностроение, 2007. 504 с.

DOI: 10.17223/9785946215596/31

PECULIARITIES OF STRAINING AND DISTORTING PROPELLANT ELEMENTS UNDER IN-SERVICE LOADING SPACE-ROCKET ARTICLES

A.S. Zharkov, A.V. Litvinov, I.I. Anisimov, E.A. Chashchikhin, V.I. Stepanov, L.S. Poddyakova

JSC FR&PC «ALTAI», Biysk, Russia

The experience of manufacturing and following testing case-bonded propellant elements (PE) for space-rocket hardware reveals that the actual pressure-time curve of propulsion system (PS) can be in sufficient discrepancy with the predicted one. This causes revising geometrics of PE and re-design of shape-forming accessories for its production. As a result, the duration and the cost of developing article rise unexpectedly.

Considerable disagreement [1] between estimated and experimental regularities of burning PE is conditioned substantially by its deformation (distorting the slots, straining the core, change of web burned distance) while service and pressurization of PS. Alterations in geometrics of PE during long-term storage and operation of the article are usually not taken into account for computational prediction of interior ballistics of PS on designing. At the same time the exploitation loads have found experimentally to generate sufficient strains in PE (table 1), causing variation (rise) of chamber pressure as well as nonstationarity of pressure-time curve [2], and also qualitative change performance characteristics of PS.

The most intensive non-uniformity of straining and distorting PE appears in case-bonded PE with cylinder-with-slots port (Fig. 1).

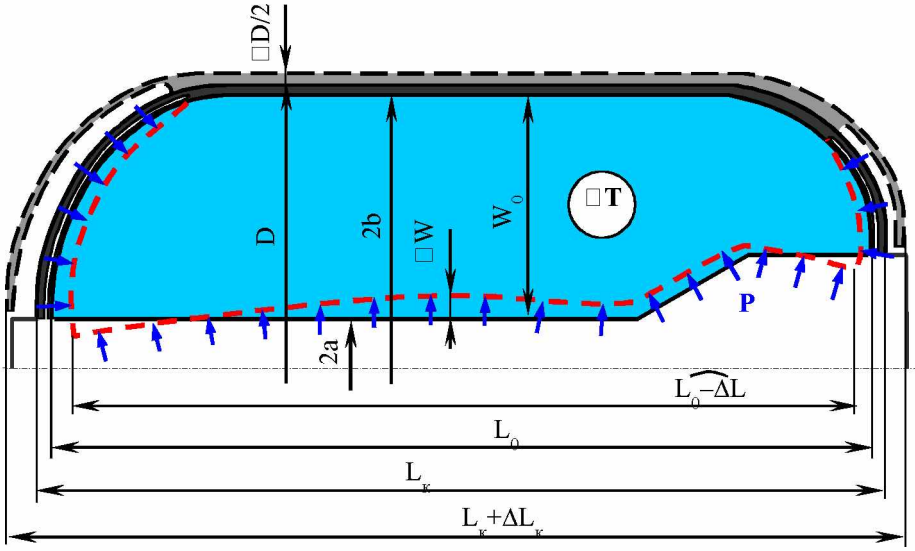


Fig. 1. Deformation of PE under storage loads and internal pressure (– – – – contour strained)

In the front and back end zones of PE port diameters are expected to diminish (region compressed) while in the central sections they enlarges (region stretched). Thereby burning web nonuniformity along the length of PE comes into being. For thick-walled ($M = \frac{b}{a}$ = 4,5–5,5) items this feature becomes of the most importance regarding to influence on chamber pressure and duration parameters of PS operation. Taking into account the peculiarities of straining and distoting PE deserves a special attention for articles with gas-generation propellants.

Table 1

Experimental deformational data for case-bonded channel-and-slots PE under the general exploitation loads

Characteristic	Variation 1	Variation 2	Variation 3
Wall thickness ratio (M=b/a)	4,19	3,97	5,56
Length ratio L/b	3,44	4,69	5,13
Deformations of the case under internal pressure (P=10,0 MPa): – circumferential $\Delta D/D$, % – axial $\Delta L_к/L_к$, %	 0,74 1,98	 1,26 1,63	 1,00 1,68
Deformations of the PE core in the middle cross-section $\varepsilon_\theta(a)$, % – thermal loading (ΔT=±20°C) – pressurization (P=10,0 MPa)	 ±3,0 9,72	 ±3,43 16,25	 ±5,1 20,9
Reduction of initial PE web on PS activation $\frac{\Delta W}{W_0}$, %	up to 3,0	up to 4,9	up to 4,5
Reduction of initial length of PE on PS activation $\frac{\Delta L}{L_0}$, %	up to 1,5	up to 1,8	up to 2,4

Table 1 shows the core geometrics to decrease by 3–5% due to PE straining while PS operation. Hence, duration parameters and the rate of combustion gas generation are sufficiently alliterates while

burning PE. Because of distortion of slots profile, the curve P(t) changes qualitatively. The overall discrepancy between actual and estimated values of internal pressure comes up to 15–20% [2].

The intensity of PE deformation depends on its configuration and geometrics (thickness and length ratios) as well as on hardness and compressibility of propellant, case deformability, actual external loads etc.:

$$\frac{\Delta W}{W_0} = f(M, L/b, G, K, \frac{\Delta D}{D}, \frac{\Delta L_к}{L_к}, N, ...).$$

Fig. 2 illustrates the effect of geometrics and reference (stress-free) temperature of PE on web alterations. The relations are experiment-calculated. Here following correspondence of case ($\varepsilon_\theta^{к}$) and core ($\varepsilon_\theta(a)$) strains is taken into account:

$$\varepsilon_\theta(a) = \varepsilon_\theta^{к} \cdot M^2 \cdot \varphi,$$

here $\varphi = \varphi\left(L/b, L_{скр}/L_0, M, G, K, ...\right)$ – PE relieving function.

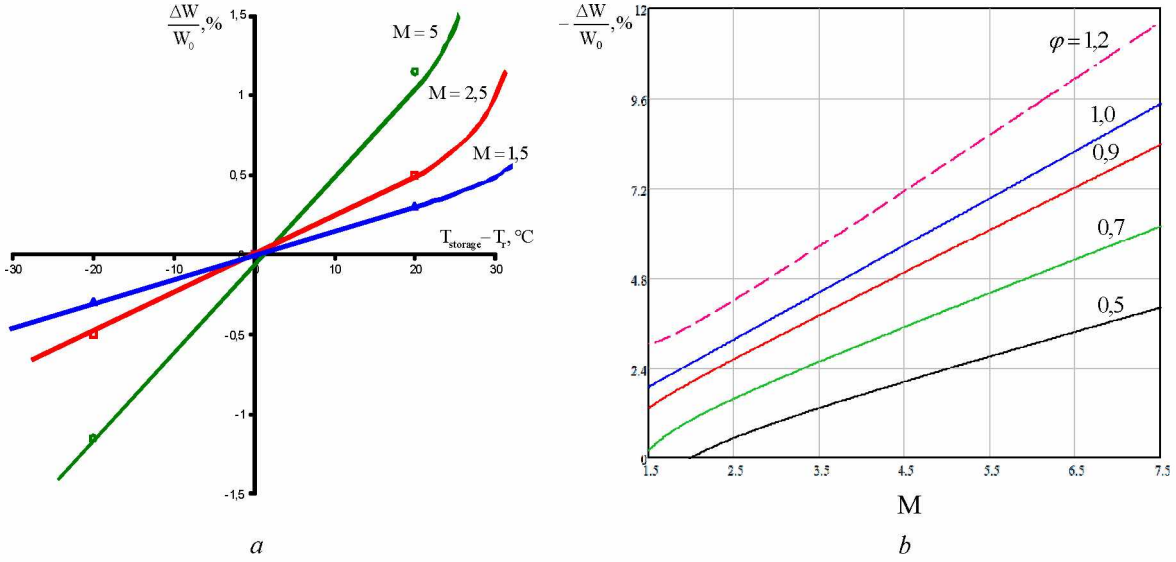


Fig. 2. Dependence of PE web burned distance on its reference temperature (T_r) and geometrics (M) for thermal loading (a) and pressurization (b) of PS

For theoretical characterization of the phenomenon discussed and extend the accuracy of predicting interior ballistic parameters of PS at the stage of designing can be applied various mathematical models [1, 2] based on formulations of conjugated problems of deformable solid mechanics and flow dynamics.

Evaluation of quantitative parameters and verification of mathematical models developed are accomplished on the basis of specialized full-scale experiment. For this purpose in JSC FR&PC «ALTAI» methodology and test-measuring equipment are developed which allow to fulfill a complete range of PE exploitation tests including various combinations of inertial and thermal loading the article in quasi-static or cyclic modes, tilting and turning, vibrations, static and pulse pressurization etc.

For estimation PE and case parameters during the test the stationary measuring systems are used as well as the portable (mobile) ones, based on different physical principles (tensometric, piezo-mechanical, piezoelectric, potentiometric, ultrasonic, optical and microwave sensors) These are all supplied by automated control and special software developed in JSC FR&PC «ALTAI».

The experimental base mentioned allows the developer to explore peculiarities of mechanical behaviour of PE under individual or complex loading PS by general exploitation loads at the conventional stage of experimental validation of article characteristics.

Conclusions

1. Alterations of geometrics of PE for up-to-date space-rocket hardware taking place during the storage and operation of PS are found experimentally to reach up to 5–8%.

2. Taking into account the deformation effects discussed at the stage of computational projection of PE burning parameters allows developer to diminish (by 1,5–1,8 times) estimation errors for performance characteristics of PS. As a result, the duration and cost parameters of PE for space-rocket articles are reduced.

References

1. Alikin V.N., Milekhin Y.M., Pak Z.P. Powder, fuel, charges. Vol. 1. Methods of mathematical modeling for investigation of charges of solid fuel. M. : Chemistry, 2003. 216 p.
2. Internal ballistics solid propellant motors / A.V. Aliyev and others ; ed. by A.M. Lipanov and J.M. Milekhina; series: V.V. Panov (pred.) and others. M. : Engineering, 2007. 504 p.

СЕКЦИЯ 3

Председатели: R. Terreaux, А.И. Потекаев, G. Jacob, Э.Р. Шрагер

3rd SESSION

Co-chairs: R. Terreaux, A.I. Potekaev, G. Jacob, E.R. Shrager

DOI: 10.17223/9785946215596/32

ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЛЕДОВ МАРКЕРОВ ПЛАСТИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В.М. Грузнов, М.Н. Балдин, М.В. Прямов

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

В соответствии с Конвенцией, принятой в 1991 г. Международной организацией гражданской авиации (ИКАО), «О маркировке пластических взрывчатых веществ в целях их обнаружения» в состав промышленных пластических взрывчатых веществ (ВВ), в качестве маркирующих веществ (МВ) вносятся легколетучие по сравнению с ВВ добавки нитросоединений: 4-нитротолуол (НТ) и 2,3-диметил-2,3-динитробутан (ДМНБ). Доклад посвящен выяснению условий определения следовых количеств МВ с помощью портативной газоаналитической аппаратуры с использованием атмосферного воздуха в качестве газа-носителя и концентрирования для достижения низких порогов обнаружения паров МВ.

Целью работы: экспериментальное исследование зависимости отклика газового хроматографа от влажности газа-носителя в предположении сильного влияния паров воды на процесс ионообразования в ионизационном хроматографическом детекторе, выбор эффективных концентраторов и режимов концентрирования.

Использовался газовый хроматограф ЭХО-В-ИДПС с атмосферным воздухом в качестве газа-носителя [1], поликапиллярной колонкой (ПКК) и ионизационным детектором перестраиваемой селективности (ИДПС) с ионизацией β-источником ^{63}Ni. Время удерживания взрывчатых веществ в интервале 5–30 с.

В прибор ЭХО-В-ИДПС был встроен специальный фильтр глубокой очистки и осушки атмосферного воздуха от паров воды до влажности с точкой росы не выше минус 62°С. В фильтре реализована многоступенчатая последовательная очистка и осушка воздуха [2].

Следовые концентрации паров маркирующих веществ получали путем контролируемого разбавления насыщенного пара НТ и ДНМБ. В качестве генератора насыщенного пара МВ использована стеклянная трубка с внутренним диаметром 3 мм и длиной 220 мм, в средней части которой размещена пробка из кристаллов МВ (длиной 5 и 10 см для НТ и для ДМНБ соответственно), зафиксированная с обеих сторон тампонами из стекловолокна длиной около 1 см.

Управляемое разбавление насыщенного пара МВ достигало максимального значения 10 000 при относительной влажности в диапазоне 50÷78%.

Концентрирование паров маркирующих веществ осуществляли на металлических сетках, сплетенных из проволоки из нержавеющей стали диаметром 0.05 мм с ячеями размером 0,08 × 0,08 мм^2. Диаметр сеток 7,5 мм. Использовали концентраторы следующих конструкций:

– 6 сеток, расположенных одна за другой;

– слой стекловолокна, дезактивированного диметилдихлорсиланом (glass wool, DMCS treated), помещенный между двумя сетками, толщина слоя 3 мм, масса стекловолокна 39 мг;

– 5 сеток, расположенных одна за другой, затем слой сорбента Tenax-TA массой 7-10 мг и фиксирующая 6-я сетка (далее концентратор сетки + Тенакс);

– 6 сеток с нанесенной неподвижной жидкой фазой (НЖФ), расположенных одна за другой; масса НЖФ на сетке была в пределах от 0,05 до 0,15 мг.

Влияние влажности газа-носителя воздуха. Использовали шприцевой ввод растворов МВ в ацетонитриле в испаритель хроматографа. Хроматографирование проводили на ПКК длиной 220 мм, содержащей примерно 1000 капилляров диаметром 40 мкм с НЖФ OV-1 (0,2 мкм). Температура разделения 110°С, температура испарителя в устройстве ввода 230°С, детектора – 170°С, время дозирования пробы 600 мс, расход газа-носителя 40 мл/мин, вытягивающее напряжение [1] в ИДПС минус 20 В.

В ходе экспериментов выявлена сильная зависимость амплитуды хроматографического пика маркирующих веществ от влажности воздуха, используемого в качестве газа-носителя. На рис. 1 приведены примеры таких зависимостей при вводе 14 нг НТ и 1 нг ДМНБ. По оси абцисс отложены значения точки росы.

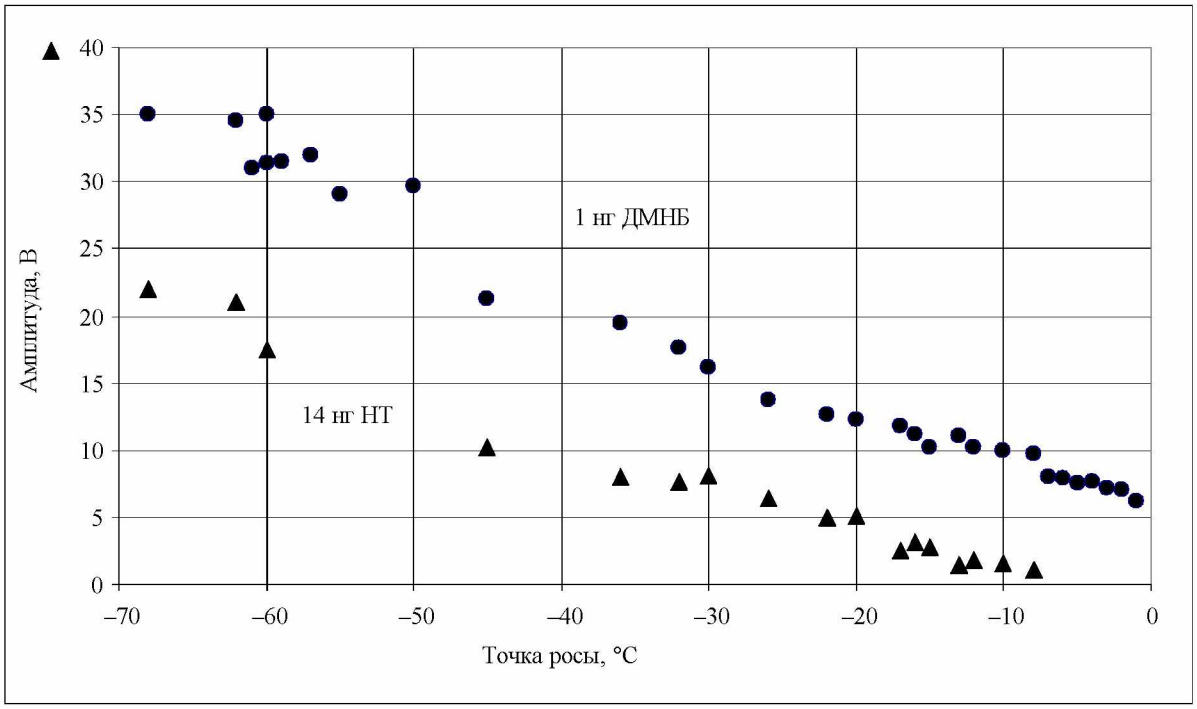


Рис. 1. Влияние влажности газа-носителя на отклик модернизированного хроматографа ЭХО-В-ИДПС на 1 нг ДМНБ и 14 нг НТ

Из результатов следует, что на практике в качестве газа-носителя нужно использовать глубоко осушенный воздух до абсолютной влажности не более 8,5 мг/м^3, что соответствует точке росы не выше минус 62°С.

Эффективность концентрирования оценивали по амплитуде хроматографического пика. Зависимости амплитуды пика от объема пропущенного через концентратор воздуха представлены на рис. 2.

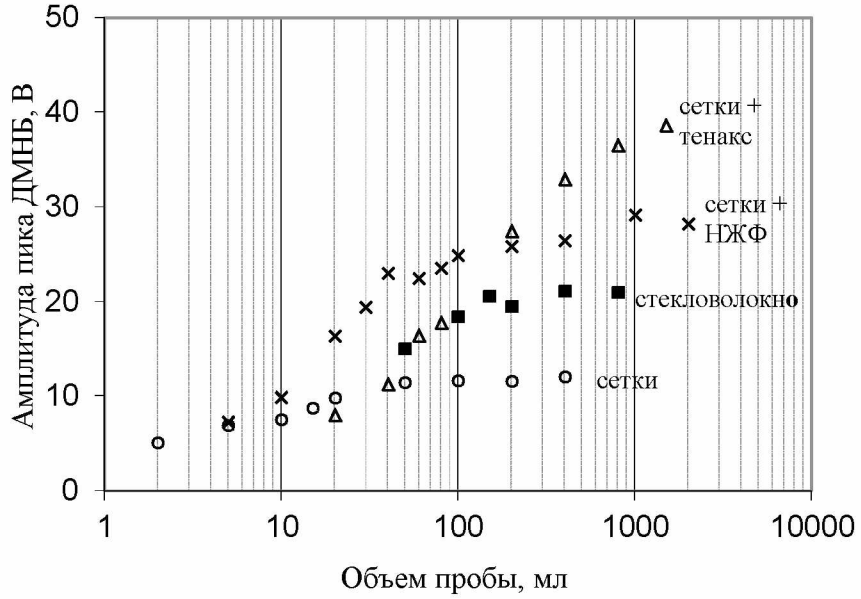


Рис. 2. Зависимость амплитуды пика ДМНБ от объема отбираемой пробы для разных типов концентраторов

Определено, что для каждого концентратора существует область линейной зависимости амплитуды пика от объема пробы. До объема отбираемой пробы, равного 200 мл (время отбора 25 секунд), концентраторы с НЖФ и сетки + тенакс превосходят по эффективности другие.

В таблице приведены пороги обнаружения хроматографа ЭХО-В-ИДПС с глубокой очисткой воздуха по определению МВ. Время анализа 13 с.

Пороги обнаружения

Ввод пробы без концентрирования		Отбор 1 л воздуха на концентратор	
Порог обнаружения, пг/см^3		Порог обнаружения, пг/см^3	
НТ	ДМНБ	НТ	ДМНБ
1500	2,7	22	0,1

Литература

1. Балдин М.Н., Грузнов В.М. Портативный газовый хроматограф с воздухом в качестве газа носителя для определения следов взрывчатых веществ// Журнал аналитической химии. 2013. Т. 68, № 11. С. 1117–1122.
2. Балдин М.Н., Горохов А.Ф., Киле А.Н., Рыболовлев В.Г. Пат. РФ № 2207563 от 27.06.2003 г.

DOI: 10.17223/9785946215596/32

GAS CHROMATOGRAPHIC DETERMINATION OF MARKING SUBSTANCES ADDED TO INDUSTRIAL PLASTIC EXPLOSIVES

V.M. Gruznov, M.N. Baldin, M.V. Pryamov

Trophimyk Institute of Petroleum Geology and Geophysics (IPGG) SB RAS, Novosibirsk

In line with the ICAO Convention of 1991 "On the marking of explosives for the purpose of identification" all commercial plastic explosives should be provided with marking substances (MS) as highly volatile agents like 4-nitrotoluene (NT) and 2,3-dimethyl-2,3-dinitrobutene (DMNB). Determination of the conditions of trace detection of marking substances with portable analytical devices using air as a carrier-gas and concentration to achieve low limits of MS vapor detection is the objective of the presentation.

The goal: an experimental investigation of the relationship between the gas chromatograph response and carrier-gas humidity. It is assumed that water vapor strongly affect the process of ion formation in a chromatographic ionization detector, choice of efficient concentrators and concentration modes.

We used an EKHO-A-IDVS gas chromatograph with air as a carrier-gas [1], multicapillary column (MCC) and an ionization detector with a varying selectivity (IDVS) with a β-source ^{63}Ni. Time of the explosive detection is 5-30 s.

The EKHO-A-IDVS is provided with an embedded filter ensuring deep purification and dehumidification of ambient air to a humidity with a dew-point temperature not higher than - 62°C. The filter provides multistage sequential purification and dehumidification of air [2].

We obtained trace vapor concentrations of marking substances through controlled dilution of saturated vapor of NT and DMNB. We used a glass tube 3 mm in I.D. and 220 mm in length as a generator of saturated MS vapor. We placed a plug of MS crystals (5 and 10 cm in length for NT and DNMS, respectively) secured by glass wool stoppers (1 cm in length) on both sides in the center of the tube.

Controlled dilution of saturated MS vapor reached a maximum value of 10 000 with a relative humidity of 50÷78%.

We used metal grids from stainless steel wire 0.05 mm in diameter with a mesh size of 0.08 × 0.08 mm^2 to concentrate MS vapors. The grid diameter is 7.5 mm. We used concentrators of the following arrangements:

– 6 grids positioned one after another;

– A layer of glass wool (glass wool, DMCS treated) placed between two grids, layer thickness, 3 mm, weight of glass wool, 39 mg;

– 5 grids placed one after another followed by the Tenax-TA sorbent of 7-10 mg secured by the 6-th grid (hereafter, grid + Tenax);

– 6 grids coated with a stationary liquid phase (of 0.05 – 0.15 mg) positioned one after another.

Effect of air-carrier-gas humidity. We used a microsyringe to inject solutions of MS in acetonitrile into the vaporizer. We separated samples on a MCC 200 mm in length containing about 1000 capillaries 40 μm in diameter coated with OV-1 stationary phase (0.2 μm). Separation was conducted under the following conditions: separation temperature, 110°C, the temperature of the evaporator of the injection device and the detector, 230°C and 170°C, respectively; injection time, 600 ms; carrier-gas flow rate, 40 ml/min; extraction voltage [1] in the IDVS, minus 20 B.

The experiments have revealed a strong dependence of the amplitude of the chromatographic peak of the MS on humidity of air used as a carrier-gas. Fig. 1 shows the dependence for 14 ng of NT and 1 ng of DMNB .Values of dew point are plotted along X-direction.

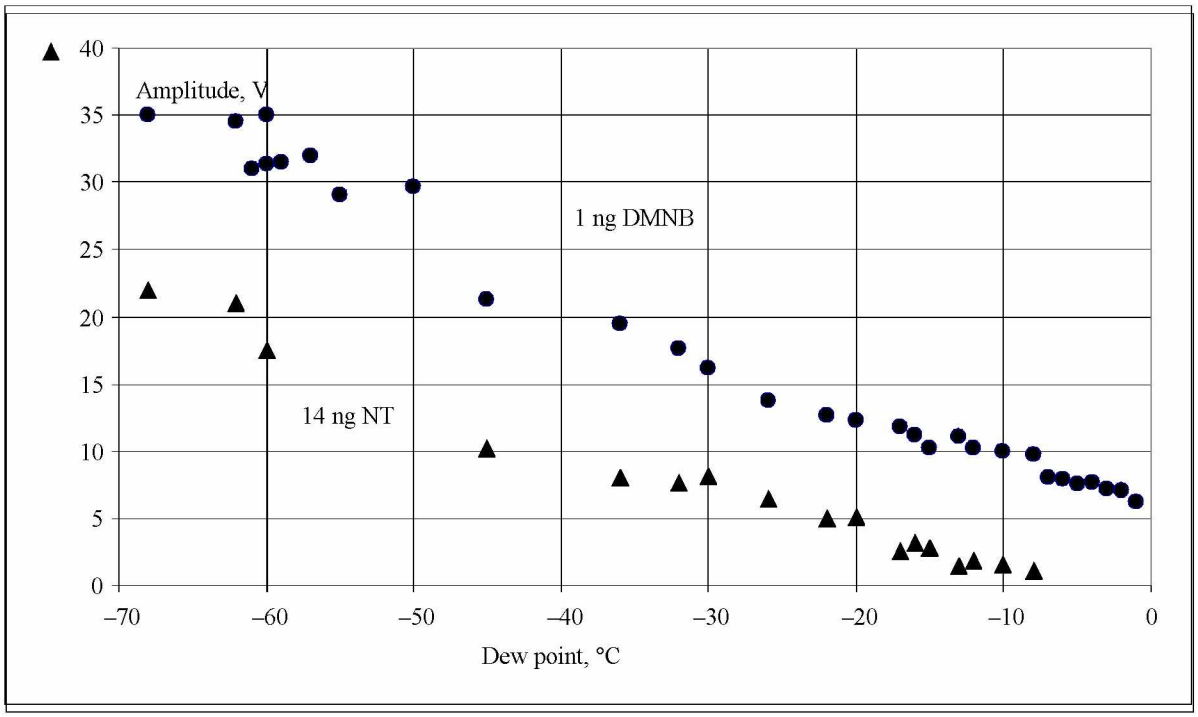


Fig. 1. Effect of carrier-gas humidity on the response of a modified EKHO-V-IDVS chroamtograph upon injection of 1 ng of DMNB and 14 ng of NT

It follows from the results that as a carrier- gas one should use air highly dehydrated to an absolute humidity of 8.5 mg/m^3 corresponding to a dew point of minus 62°C.

We evaluated **concentration efficiency** by chromatographic peak amplitude. Peak amplitude versus the volume of air passed through the concentrator is given on Fig. 2.

It is found that for each concentrator there is a range of linearity between the peak amplitude and sample volume. Concentrators with LSP and grids + Tennax surpass other concentrators in efficiency with a sample volume of 200 ml (sampling time, 25 s).

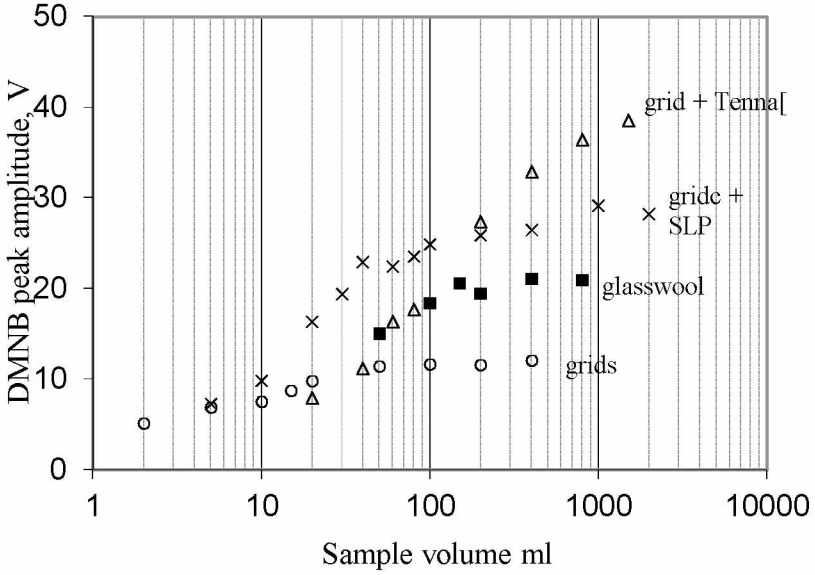


Fig. 2. DMNB peak amplitude versus sample volume for different concentrator types

Table gives the limits of MS detection with the EKHO-A-IDVS using highly purified air. Analysis time is 13 s.

Detection limits

Direct sample injection		Sampling of 1 *l* of air on a concentrator	
Detection limit, ng/cm^3		Detection limit, pg/cm^3	
NT	DMNB	NT	DMNB
1500	2,7	22	0,1

References

1. Baldin M.N., Gruznov V.M. Portable gas chromatograph with air as a carrier gas for trace explosive detection // Journal of analytical chemistry. 2013. V. 68, № 11. P. 1117–1122.
2. Baldin M.N., Gorohov A.F., Kile A.N., Rybolovlev V.G. Patent of Russia № 2207563 of 27.06.2003.

DOI: 10.17223/9785946215596/33

ИЗУЧЕНИЕ СПОСОБНОСТИ НАНОСОРБЕНТОВ АДСОРБИРОВАТЬ ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА

С.Г. Ильясов, И.Р. Ахмадеев, И.Р. Павленко, М.В. Тильзо, М.В. Чикина, Н.В. Коровина

Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН, г. Бийск

В настоящее время поиск технических решений, необходимых для создания технических средств на основе наносорбентов, предназначенных для дегазации объектов, находившихся на месте чрезвычайного происшествия и загрязненных токсичными химикатами, относящимися к химическому оружию является актуальной темой.

Проведены исследования по выбору и разработке наносорбентов с сорбционными свойствами, достаточными для дегазации объектов, загрязненных токсичными химикатами, такими как: диизопропилметилфосфат (ДИПМФ), малатион, диизопропилфторфосфат (ДИПФФ), хлорэтилэтилсульфид (ХЭЭС).

Показано, что эффективными сорбентами являются нанооксид алюминия по поглощению ХЭЭС, а также нанооксид железа (III) и нанооксид меди[1] по поглощению фосфорорганики.

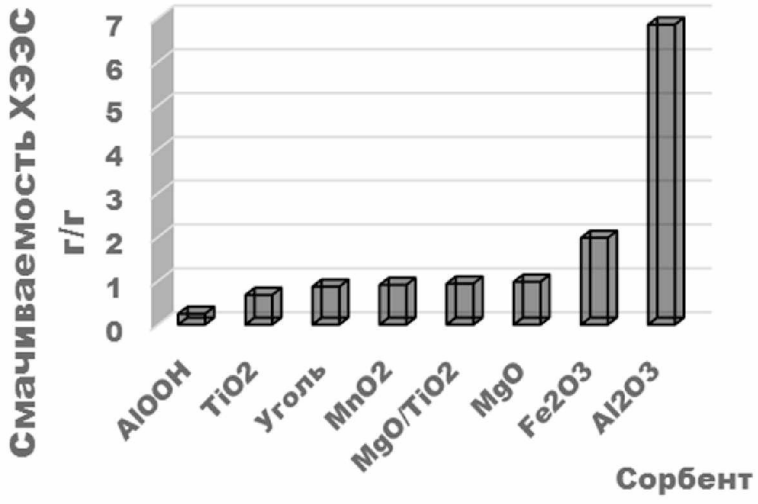


Рис. 1. Гистограмма распределения смачиваемости хлорэтилэтилсульфида (ХЭЭС) в зависимости от природы наносорбента

Литература

1. Il'yasov S.G., Kazantsev I.V., Til'zo M.V., Sakovich G.V., Zaikovskii V.I., Prosvirin I.P., Tuzikov F.V. ZAAC. 2013. V. 11. P. 2132.

DOI: 10.17223/9785946215596/33

STUDY INTO THE CAPABILITY OF NANOSORBENTS TO ADSORB TOXIC AGENTS

S.G. Il'yasov, I.R. Akhmadeev, A.A. Pavlenko, M.V. Til'zo, M.V. Chikina, N.V. Korovina
Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk

It is nowadays topical to search for technical solutions needed to develop nanosorbent-based technical means intended for decontamination of objects that have been located at the site of a chemical event and contaminated with toxic chemicals referring to chemical warfare.

Research on selection and development has been performed regarding nanosorbents with sorption properties sufficient for decontamination of objects contaminated with toxic chemicals such as diisopropyl methylphosphonate (DIMP), malathion, diisopropyl fluorophosphate (DIFP), and bis(β-chloroethyl) sulfide (mustard gas).

Aluminum nanooxide has been found effective in absorbing mustard gas, and iron (III) nanooxide and copper nanooxide[1] in absorbing phosphor organics.

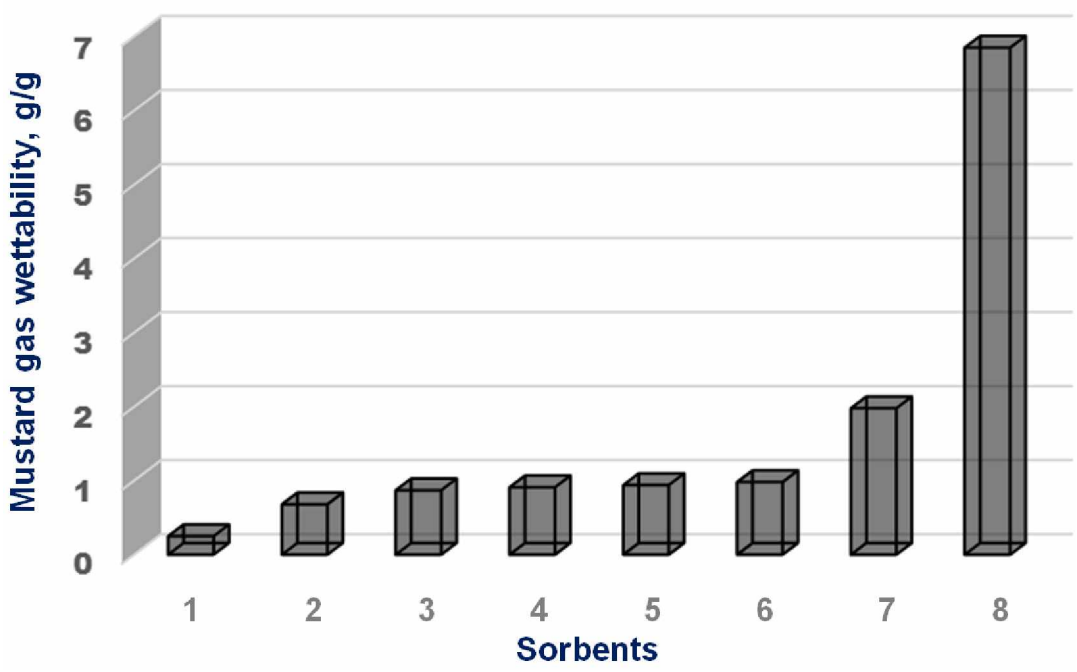


Fig. 1. A bar graph showing wettability distribution of mustard gas versus nanosrobent nature: (1) AlOOH, (2) TiO_2, (3) Carbon, (4) MnO_2, (5) MgO/TiO_2, (6) MgO, (7) Fe_2O_3, (8) Al_2O_3

References

1. Il'yasov S.G., Kazantsev I.V., Til'zo M.V., Sakovich G.V., Zaikovskii V.I., Prosvirin I.P., Tuzikov F.V. ZAAC. 2013. V. 11. P. 2132.

DOI: 10.17223/9785946215596/34

ОГНЕЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВОДОРОДНОГО ФАКЕЛА

В.Л. Страхов, А.Н. Гаращенко, А.А. Кульков

Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения, г. Хотьково Московской обл.

Экологическая и пожарная безопасность атомных электростанций (АЭС) зависит от фактической огнестойкости несущих металлоконструкций, которая обеспечивается огнезащитой требуемой толщины. Обрушение строительных конструкций машинных залов при аварии неизбежно приводит к катастрофическим последствиям. Поэтому проблема рациональной огнезащиты конструкций АЭС весьма актуальна.

Важно также отметить, что параметры огневого воздействия на строительные конструкции при пожаре на АЭС могут отличаться от стандартных параметров. Так, например, при аварии турбогенераторов серии ТВ, ТВ2, ТВФ, ТВВ, ТГВ, корпус которых заполнен водородом возможно образование «водородного факела» – высокотемпературной струи (до 2000°С). Очевидно, что в данном случае подход к огнезащите строительных конструкций машинных залов должен отличаться от подхода, традиционно применяемого для обычных зданий и сооружений.

Авторами доклада предлагается способ и средства огнезащиты строительных конструкций машинных залов АЭС, позволяющие учесть особенности работы огнезащиты при теплоэрозионном воздействии водородного факела.

В ходе многолетних работ авторами накоплен значительный опыт в области исследований, проектирования, отработки и изготовления на ответственных объектах теплозащиты строительных конструкций различных типов. Результаты проведённых теоретических и экспериментальных исследований обобщены в монографии [1] и многочисленных журнальных публикациях, например в работах [2–5]. Разработаны и апробированы на практике уникальные методики и программные комплексы для теплотехнических расчетов [6], позволяющие определять проектные толщины различных типов огнезащиты, обеспечивающие заданные пределы огнестойкости конструкций. По этим методикам можно моделировать и прогнозировать влияние изменяющихся при старении теплофизических характеристик, показателей термического анализа и вспучивания на огнезащитную эффективность покрытий и на пределы огнестойкости металлоконструкций.

Накопленный опыт целесообразно применить при проектировании огнезащиты конструкций, подвергающихся воздействию углеводородного факела.

В докладе представлены результаты серии расчетов, демонстрирующие влияние вида огнезащитных материалов и режима пожара на прогрев металлоконструкций. Показано, что вспучивающиеся покрытия, которые, в основном, используются на АЭС, могут обеспечивать заданные пределы огнестойкости конструкций только при так называемом «стандартном» пожаре и не применимы при режиме горения углеводородного горючего. При воздействии углеводородного факела пенококс, образующийся под обогреваемой поверхностью вспучивающе-

гося покрытия, уносится газовым потоком, что резко снижает эффективность покрытий данного типа. В этих случаях может применяться только конструктивная огнезащита.

Поэтому было проведено моделирование уровня прогрева металлоконструкций при использовании конструктивной огнезащиты из плит Promatect-H, а также комбинированной огнезащиты из этих плит и базальтоволокнистых плит (внутренний слой), у которых значительно ниже коэффициент теплопроводности и плотность по сравнению с материалом Promatect-H. Из полученных результатов следует, что, варьируя соотношением толщин плит, можно обеспечить заданные пределы огнестойкости металлоконструкций при уменьшении стоимости огнезащиты (базальтоволокнистые плиты значительно дешевле плит Promatect-H).

Рассмотрен также случай воздействия на конструкции водородного факела. Принят гипотетический режим с первоначальным воздействием факела с температурой порядка 2000°C и последующим изменением температуры газовой среды по углеводородному режиму. Результаты моделирования показывают, насколько может повыситься уровень прогрева конструкций при таком варианте воздействия. Однако применение композиционной огнезащиты из эрозионно стойких плитных материалов позволяет решить данную проблему рациональным способом.

Литература

1. Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф. Огнезащита строительных конструкций. М. : ТИМР, 2000. 433 с.
2. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Кузнецов Г.В., Рудзинский В.П. Численная реализация и апробирование математических моделей тепломассообмена в тепло- и огнезащите с учетом процессов термического разложения, испарения-конденсации, уноса массы и вспучивания-усадки // Математическое моделирование. 2000. № 5.
3. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Кузнецов Г.В., Рудзинский В.П. Высокотемпературный тепломассоперенос в слое влагосодержащего огнезащитного материала // Теплофизика высоких температур. 2000. Т. 38, № 6. С. 958–962.
4. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Кузнецов Г.В., Рудзинский В.П. Математическое моделирование горения вспучивающихся огнезащитных материалов // Физика горения и взрыва. 2001. Т. 37, № 2.
5. Гаращенко А.Н., Страхов В.Л., Рудзинский В.П., Казиев М.М. Методика расчетов толщин огнезащитных покрытий на основе минеральных вяжущих для строительных конструкций из металла (на примере покрытия СОТЕРМ-1М) // Пожаровзрывобезопасность. 2005. Т. 14, № 4. С. 17–22.
6. Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Рудзинский В.П. Программные комплексы для расчетов тепломассопереноса в строительных конструкциях с огнезащитой с учетом термического разложения, вспучивания-усадки и испарения-конденсации // Пожаровзрывобезопасность. 2001. № 4. С. 9–11.

DOI: 10.17223/9785946215596/34

FIRE PROTECTION OF NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTIONS UNDER ATTACKING HYDROGEN TORCH

V.L. Strakhov, A.N. Garashchenko, A.A. Kulkov
Central Research Institute of Special Machinery, Khotkovo, Moscow Region

Ecological and fire safety of nuclear power plants (NPP) depends on the actual fire resistance of load-bearing metal constructions, which is provided by fire protection of a thickness to be required. Collapse of machine room constructions in an emergency inevitably causes catastrophic consequences. Therefore, the problem of rational fire protection of NPP constructions is of high priority.

It is also important to note that parameters of the fire action on building constructions during a fire at NPP can be differed from standard parameters. For example, in the case of break-down of TV, TV2, TVF, TVV, TGV series turbine generators whose cases are filled with hydrogen, it is possible the formation of "hydrogen torch", i.e. a high-temperature jet (up to 2000°C). It is obvious that the approach to fire protection of building constructions of machine rooms in this case should be differed from the approach traditionally used for usual buildings and structures.

The authors of the paper propose a method and means for fire protection of building constructions of NPP machine rooms that allow features of operating fire protection under heat-erosion attacking the hydrogen torch to be taken into account.

In the course of long-term work, the authors have stored a considerable experience in studies, design, development and production at critical objects of fire protection of different-type building constructions. Results of conducted theoretical and experimental studies are generalized in the monograph [1] and numerous journal publications, for example, in papers [2–5]. Unique procedures and software complexes for heat-engineering calculations [6] allowing us to determine design thicknesses of different types of fire protection that provide specified fire-resistance limits of constructions have been developed and evaluated in practice. Using these procedures, one can simulate and forecast the effect of thermal-physical characteristics varying with aging, thermal analysis indices and intumescence on fire-protective efficiency of coats and fire-resistance limits of metal constructions.

The stored experience is expedient to apply when designing fire protection of constructions being subjected to the action of the hydrocarbon torch.

The paper presents the calculation series results that demonstrate the effect of a fire-protective material type and a fire mode on the warm-up of metal constructions. It is shown that intumescent coatings, which are basically used at NPP, can provide specific fire-resistance limits of constructions only in the case of so called "standard" fire and are not applied in the hydrocarbon fuel combustion mode. When attacking the hydrocarbon torch, foam coke which is formed under the intumescent-coating surface to be heated, is ablated with gas flow what strongly reduces the efficiency of this type of coatings. In these cases, only the constructive fire protection can be used.

Therefore, the simulation of warm-up level of metal constructions when using constructive fire protection from Promatect-H plates as well as combined fire protection from these plates and basalt

ones (inner ply), the latter having considerably lower thermal conductivity and density in comparison with Promatect-H material, was performed. It follows from results obtained that varying the plate thickness ratio can provide specified fire-resistance limits of metal constructions when reducing the cost of fire protection (basalt plates are considerably more cheap than Promatect-H plates).

Also, the case of attacking the hydrogen torch on constructions has been considered. A hypothetic mode with initial attacking the torch having the temperature of the order of 2000°C and subsequent changing the gas medium temperature in the hydrocarbon mode has been adopted. The simulation results show how far the warm-up level of constructions can be increased with such type of action. However, the use of composite fire protection from erosion-resistant plate materials allows this problem to be solved by the rational method.

References

1. Strakhov V.L., Krutov A.M., Davydkin N.F. Fire Protection of Building Constructions. M. : TIMR, 2000. 433 p.
2. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kuznetsov G.V., Rudzinsky V.P. Numerical Realization and Approbation of Mathematical Models of Heat-Mass Exchange in Heat and Fire Protection Including Thermal-Destruction, Evaporation-Condensation, Ablation and Intumescence-Shrinkage Processes, Mathematical Modeling, 2000, No. 5.
3. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kuznetsov G.V., V.P. Rudzinsky. High-Temperature Heat-Mass Exchange in a Ply of Water-Containing Fire-Protective Material, Thermal Physics of High Temperatures, 2000, V. 38, No. 6, pp. 958-962.
4. Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kuznetsov G.V., Rudzinsky V.P. Mathematical Modeling of Intumescent Fire-Protective Materials, Physics of Combustion and Explosion, 2001, V. 37, No. 2.
5. A.N. Garashchenko, V.L. Strakhov, V.P. Rudzinsky and M.M. Kaziev. Design Procedure for Thicknesses of Fire-Protective Coatings on the Basis of Mineral Binders for Building Metal Constructions (SOTERM-1M Coating as an Example), Fire-Explosion Safety, 2005, V. 14, No. 4, pp. 17-22.
6. V.L. Strakhov, A.N. Garashchenko and V.P. Rudzinsky. Software Complexes for Calculations of Heat-Mass Exchange in Building Constructions with Fire Protection, Including Thermal Destruction, Intumescence-Shrinkage and Evaporation-Condensation, Fire-Explosion Safety, 2001, No. 4, pp. 9-11.

DOI: 10.17223/9785946215596/35

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПАССИВНОЙ АДАПТИВНОЙ МУЛЬТИСЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ

А.И. Потекаев[1], А.Б. Ворожцов[1], В.П. Якубов[1], В.А. Светличный[1], Г.В. Сакович[2]
[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
[2]Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск

Обсуждаются вопросы создания пассивной адаптивной мультисенсорной системы на базе сенсоров различной природы для целей обнаружения экологических угроз, обусловленных применением взрывчатых, отравляющих и химически опасных веществ в условиях массового скопления людей. Предлагаются физические принципы и технические идеи, которые могут быть положены в основу разработки такой высокочувствительной системы. Формулируются требующие решения в этой связи задачи, рассматриваются перспективы разработки подобной системы.

DOI: 10.17223/9785946215596/36

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИТЫ ВЗРЫВООПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ БОЕПРИПАСОВ

Д.А. Наумов[1], В.И. Блинов[1], В.Ю. Мелешко[2], В.Г. Ларин[1], В.О. Грек[1]
[1]Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Москва
[2]Институт химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, г. Москва

В России и ряде других государств имеется большое количество взрывоопасных объектов (ВО), способных к возбуждению взрывчатых превращений (ВП) при воздействии на них поражающих элементов обычных средств поражения (ОСП), которыми могут располагать различные террористические и экстремистские формирования. Совершение диверсий или террористических актов на подобных объектах чревато катастрофическими последствиями [1]. Наиболее опасным поражающим фактором является КС, способная не только глубоко проникать в высокопрочные преграды, но и инициировать взрывчатые превращения в ВМ, находящимися за этими преградами. Поэтому необходимо уделять большое внимание именно разработке средств защиты ВО от кумулятивных боеприпасов (КБП).

Отсутствие должных средств защиты ВО от поражающих элементов кумулятивных боеприпасов (КБП) и сохраняющаяся возможность их поражения потребовало разработки научно обоснованных высокоэффективных противокумулятивных защитных устройств, исключающих возможность поражения взрывоопасных объектов при воздействии КБП.

Установлено, что наиболее эффективным средством защиты от КС является сочетание пористого керамического материала, поры которого заполнены химически активным наполнителем (ХАН) [2,3,8]. Кумулятивная струя, проходя через преграду частично утрачивает свою сплошность, частично теряет энергию проникания и взаимодействует с ХАН, находящимся в порах керамического материала, который при этом испытывает давление порядка 10...100 ГПа и температуру более 1500 К. При этих условиях материал кумулятивной струи вступает во взаимодействие с химически активным веществом, входящим в состав пористой керамики [7].

Представленные в статье данные свидетельствуют о существенном влиянии ХАН пористой керамики на глубину проникания кумулятивной струи. Причем нитраты калия и натрия оказываются более активными наполнителями, чем сера. Это свидетельствует о том, что при проникании фрагмента кумулятивной струи возможны не только химические реакции между металлом струи и окислительными наполнителями керамики, что уже доказано в предшествующих работах, но и испарение материалов в зоне контакта, т.е. имеет место дополнительный фактор, увеличивающий расход кумулятивной струи при проникании в преграды и снижающий глубину ее проникания. На основе полученных данных правомерно считать, что чем выше температура разогрева в зоне контакта, тем интенсивнее расход материала струи.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили разработать рекомендации по совершенствованию средств защиты взрывоопасных объектов от КБП, которые являются наиболее опасными.

В отличие от защитных устройств, разработанных ранее [4-6], роль противокумулятивной защиты в данном случае играет слой пористой керамики, насыщенной нитратом калия, закрепленный на внутренней стенке сооружения.

Таким образом, в целях повышения защищенности взрывоопасных объектов от кумулятивных боеприпасов, представлен научно обоснованный способ обеспечения диссипации кинетической энергии кумулятивной струи, исключающий возбуждение взрывчатого превращения в форме горения или детонации в ВО.

Литература

1. Блинов В.И., Наумов Д.А. Возможные последствия воздействия обычных средств поражения на взрывоопасные объекты // Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму. СПб., 2010. С. 201–207.
2. Кожушко А.А., Рыкова И.И., Синани А.Б. Сопротивление керамики внедрению ударяющего тела при высоких скоростях взаимодействия // ФГВ. 1992. № 1. С. 45–47.
3. Дорохов Н.С., Федеров В.Т., Рототаев А.Д. Использование сильных окислителей в противокумулятивной броне // Оборонная техника. 1996. № 4. С. 87–91.
4. Блинов В.И., Давыдов Г.В., Ларин В.Г. Противокумулятивное защитное устройство транспортных средств // Патент РФ № 2287128. 2006.
5. Блинов В.И., Давыдов Г.В., Ларин В.Г. Противоснарядная и противокумулятивная броня // Патент РФ № 2192607. 2002.
6. Наумов Д.А., Блинов В.И. Противокумулятивное и противопульное средство защиты // Патент РФ № 2540358. 2013.
7. Блинов В.И., Наумов Д.А. Кинетика окисления металлокомпозитов // Сб. тезисов докладов Всероссийской школы-семинара «Физхимия-2010». М. : НИФХИ им. Л.Я. Карпова, 2010. С. 23.
8. Блинов В.И., Наумов Д.А. О некоторых перспективах создания высокоэффективной противокумулятивной защиты взрывоопасных объектов // Сб. тезисов докладов Международной конференции «High energy materials: antiterrorizm, demilitarization and civil application» (HEMs – 2010). Бийск, 2010. С. 159–161.

DOI: 10.17223/9785946215596/36

WAY TO IMPROVE THE PROTECTION OF EXPLOSIVE OBJECTS FROM THE FLUENCE OF CUMULATIVE MUNITIONS

D.A. Naumov[1], V.I. Blinov[1], V.I. Meleshko[2], V.G. Larin[1], V.O. Grek[1]

[1]Military academy of the Strategic missile force named by Peter the Great, Balashiha city, Moscow
[2]Institute chemical physics of a name of N.N.Semenova of the Russian Academy of Sciences, Moscow

In Russia and some other countries have a large number of explosive objects (EO) that are capable of explosive transformations (ET) excitation when exposed to damaging elements of conventional weapons (CW), which may various different terrorist and extremist groups. The commission of acts or terrorist attacks on such objects is fraught with catastrophic consequences [1]. Affecting the most dangerous factor is cumulative jet (CJ), able not only to penetrate deeply into the high-barrier, but also to initiate the explosive transformation in the explosive materials (EM) that are behind these barriers. Therefore it is necessary to pay great attention is the development of means of protection EO against cumulative munitions (CM).

Lack of adequate protection EO from damaging element of the cumulative munitions (CM) and continuing possibility of defeat required the development of science-based high-performance anti-cumulative protective devices, excluding the possibility of defeat EO in when exposed to CM.

Found that the most effective means of protection against CJ is a combination of a porous ceramic material, the pores of which are filled with reactive filler (RF) [2, 3, 8]. Cumulative jet passing through several layers of barriers partially loses its continuity partially loses energy penetration and interacts with RF located in the pores of the ceramic material, which in this case under pressure 10...100 GPa and temperature over 1500 K. Under these conditions, the cumulative jet material interacts with the reactive substance, which is part of the porous ceramics [7].

Presented in article indicate significant effects RF porous ceramics to a depth of penetration of a cumulative jet. Sodium and potassium nitrates are more active fillers than sulfur. This indicates that the penetration fragment cumulative jet can not only chemical reaction between the metal stream and the oxidizing fillers pottery that has been proven in previos studies, but the evaporation of materials in the contact zone, that is, there is an additional factor that increases the rate of a cumulative jet with penetration in the barriers and reducing the depth of its penetration. Based on the recived legitimate to assume that the higher heating temperature in the contact area data, the jet material flow intensively.

Carried theoretical and experimental research allowed developing recommendations for improving the protection of explosive objects from the CM, which are the most dangerous.

Unlike the protective device developed previously [4-6] anticumulative protection role in this case is porous ceramic layer saturated RF fixed to the inner wall of the structure.

Thus, in order to improve the security of explosive objects against cumulative munitions, it presented a scientifically based method for providing dissipation of the kinetic energy cumulative jet, eliminating the explosive transformation of the excitation in the form of burning or detonation in EO.

References

1. Blinov V.I., Naumov D.A. The possible effects of conventional weapons on explosive objects // In the proceedings of the conference «Problems of explosion protection and counter-terrorism». Saint-Petersburg, 2010. P. 201-207.
2. Kogushko A.A., Rikova I.I., Sinani A.B. Resistance ceramic implementation body hitting at high speed interaction // FGV. 1992. № 1. P. 45-47.
3. Dorohov N.S., Fedorov V.T., Rototaev A.D. The use of strong oxidants in anticumulative armor // Defense equipment. 1996. № 4. P. 87-91.
4. Blinov V.I., Davidov G.V., Larin V.G. Anticumulative vehicle safety device // Patent RF № 2287128. 2006.
5. Blinov V.I., Davidov G.V., Larin V.G. Antimunition and anticumulative armor // Patent RF № 2192607. 2002.
6. Naumov D.A., Blinov V.I. Anticumulative and bulletproof remedy // Patent RF № 2540358. 2013.
7. Blinov V.I., Naumov D.A. Oxidation kinetics of metal composites // In the book of abstracts of All-Russian school-seminar «Physchemistry 2010». Moscow, RIPC named by L.I. Karpov. 2010. P. 23.
8. Blinov V.I., Naumov D.A. Some prospects of creating a highly explosive objects anticumulative protection // In the book of abstracts international conference «High energy materials: antiterrorizm, demilitarization and civil application» (HEMs – 2010). Biysk, 2010. P. 159-161.

DOI: 10.17223/9785946215596/37

УФ СКР-ЛИДАР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СЛЕДОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

С.М. Бобровников[1, 2], Е.В. Горлов[1, 2], В.И. Жарков[1]

[1] Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

УФ СКР-лидар построен по коаксиальной схеме (рис. 1). В качестве источника излучения использован эксимерный лазер на среде KrF с узкой линией генерации. Рассеянное излучение попадает на апертуру приемного телескопа, который строит изображение рассеивающего объема на входной щели спектрографа (Shamrock SR-500i). На выходе спектрографа в области локализации спектра установлен катод стробируемой видеокамеры с усилителем яркости, позволяющей детектировать сигнал как в режиме счёта фотонов, так и в режиме накопления заряда. Между телескопом и спектрографом установлен краевой фильтр, блокирующий линию лазерного излучения 248,3 нм.

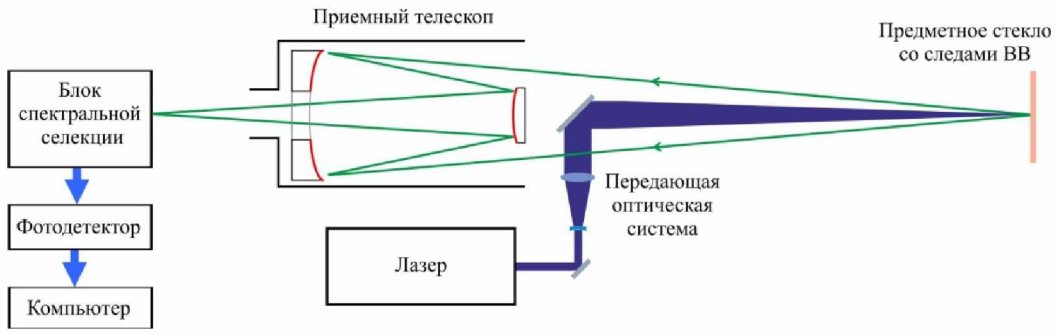


Рис. 1. Оптическая схема СКР-лидара

Испытания СКР-лидара по обнаружению химических соединений на поверхностях проводились в лабораторном помещении при стандартных условиях. Приемопередающая система лидара фокусировалась в область пространства на расстояние 10 м, где был установлен кронштейн, в который закреплялись образцы, с различными поверхностными концентрациями следов химических соединений.

Ширина входной щели спектрографа составляла 125 мкм, что соответствовало спектральному разрешению ~ 15 $см^{-1}$. Сигнал вдоль щели спектрографа интегрировался. Регистрация сигнала производилась в режиме счета фотонов при накоплении по 1000 лазерным импульсам.

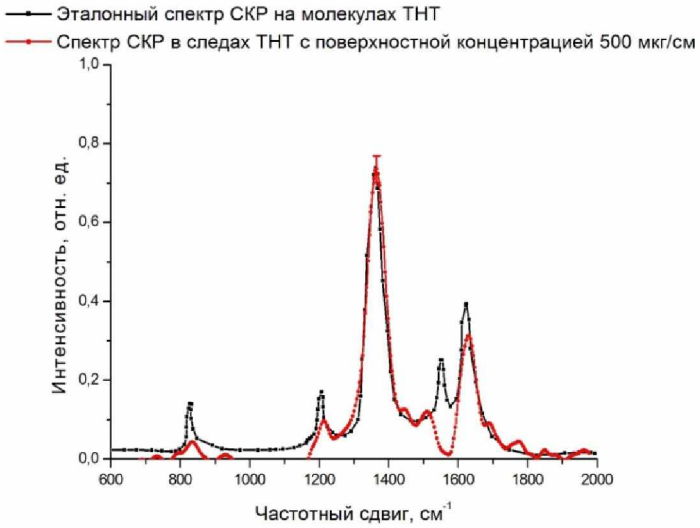


Рис. 2. Эталонный спектр ТНТ (черная кривая) и нормированный спектр СКР в следах ТНТ с поверхностной концентрацией 500 мкг/$см^2$ без спектров СКР подложки и атмосферных газов

Для экспериментов были использованы некоторые азотосодержащие высокоэнергетические вещества, имеющие низкую летучесть и содержащиеся в базе данных спектров СКР. При выборе веществ учитывалась актуальность задачи их дистанционного обнаружения.

После идентификации полос спектров СКР, полученных в экспериментах и вычитания спектра подложки и спектра СКР основных атмосферных газов, выделялся спектр лидарного отклика следа высокоэнергетического вещества, нанесённого на поверхность.

На рисунке 2 показано сравнение эталонного спектра СКР тринитротолуола (ТНТ) и спектра СКР в следах ТНТ с поверхностной концентрацией 500 мкг/$см^2$ полученного после вычитания спектров СКР подложки и основных атмосферных газов.

Предельно-обнаружимая концентрация следа определялась в процессе обнаружения следа с заданной поверхностной концентрацией при пороговом значении соотношения сигнал/шум 2.

Как показывают эксперименты по определению чувствительности СКР лидара по обнаружению следов на подложках из силикатного стекла (предметное стекло микроскопа), предельно обнаружимые концентрации составляют – для ТНТ – 0,5 мкг/$см^2$, для ТЭН – 25 мкг/$см^2$ и для нитрата аммония – 20 мкг/$см^2$, соответственно.

DOI: 10.17223/9785946215596/37

UV RAMAN LIDAR FOR THE DETECTION OF TRACES OF HIGH ENERGETIC MATERIALS

S.M. Bobrovnikov[1, 2], E.V. Gorlov[1, 2], V.I. Zharkov[1]
[1]*Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk*
[2]*National Research Tomsk State University, Tomsk*

The UV Raman lidar is constructed according to a coaxial scheme (Fig. 1). An excimer KrF laser with a narrow lasing line is used as the radiation source. The scattered radiation reaches the receiving telescope aperture that creates an image of the scattering volume on the entrance slit of the spectrograph (Shamrock SR-500i). At the output of the spectrograph in the localization area of the spectrum, the cathode of a time gated ICCD camera is set that allows to detect the signal in the photon counting and charge accumulation modes. Between the telescope and spectrograph, an edge filter blocking the laser line 248.3 nm is installed.

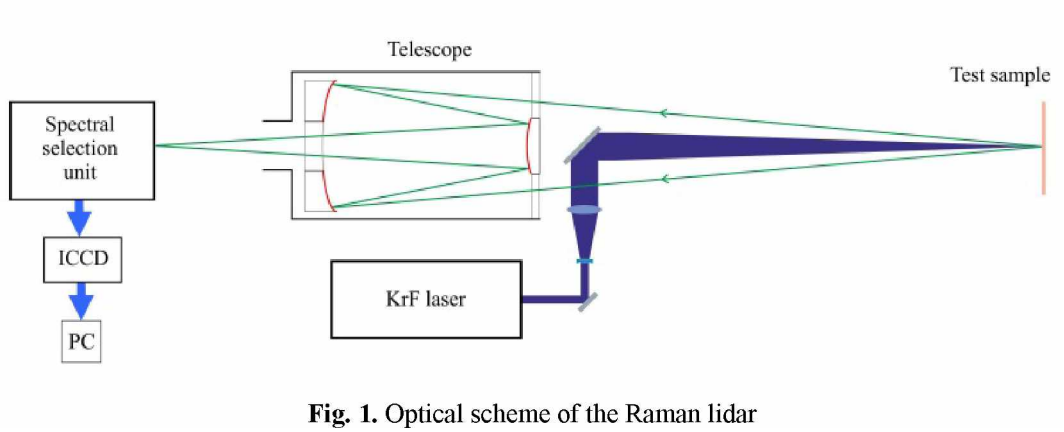


Fig. 1. Optical scheme of the Raman lidar

The Raman lidar for the detection of chemical materials on the surface was tested in the laboratory room under standard conditions. The lidar transceiver system was focused at a distance of 10 m, where the substrates with the samples having different surface concentrations of traces of chemical materials were installed.

The width of an entrance slit of the spectrograph was 125 μm, which corresponds to the spectral resolution of ~15 cm^{-1}. The signal along the slit of the spectrograph was integrated. The signal was recorded in the photon counting mode at accumulation over 1000 laser pulses.

For the experiments, some high energetic nitrogen-containing substances with low volatility contained in the database of Raman spectra were used. When choosing the substances, urgency of theirs remote detection was taken into account.

After the identification of the recorded Raman spectra bands and subtraction of the Raman spectra of the substrate and major atmospheric gases, the lidar response spectrum of traces of the chemical substance deposited on the surface was selected.

Figure 2 shows a comparison of the Raman reference spectrum of trinitrotoluene (TNT) and Raman spectrum of the TNT traces (500 μg/cm^2) obtained after subtraction of the substrate spectrum and Raman spectra of major atmospheric gases.

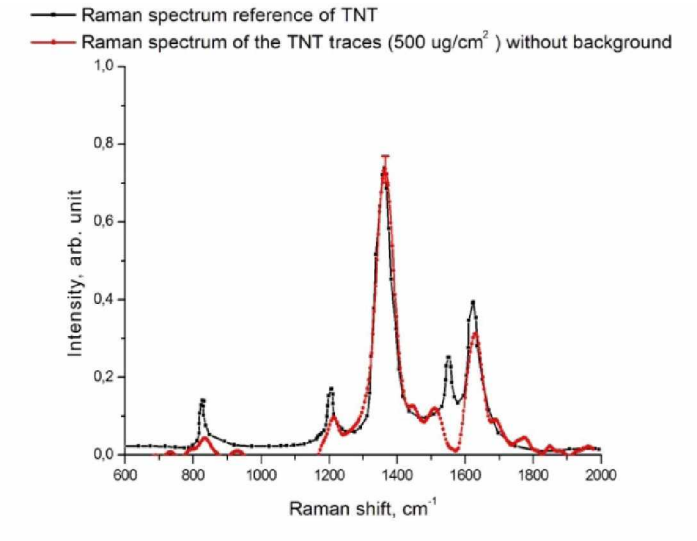


Fig. 2. The Raman reference spectrum of TNT (black line) and normalized Raman spectrum of the TNT traces (500 μg/cm^2) without of the substrate spectrum and Raman spectra major atmospheric gases (red line)

The minimal detectable concentration of traces was determined in the process of detecting the traces with a predetermined surface density at a threshold value of the signal/noise ratio 2.

Experiments on the determining the Raman lidar sensitivity using the data on the detection of traces on the silica glass substrates (the microscope glass slides) show that the minimal detectable concentrations are 0.5 μg/cm^2 for TNT, 25 μg/cm^2 for pentaerythritol tetranitrate, and 20 μg/cm^2 for ammonium nitrate.

DOI: 10.17223/9785946215596/38

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИНАМИКИ СРЕДНИХ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ СУБМИКРОННЫХ АЭРОЗОЛЬНЫХ СРЕД В БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ И УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССАХ

С.С. Титов, Э.А. Мецлер, А.А. Павленко, В.А. Архипов

Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения Российской академии наук (ИПХЭТ СО РАН), г. Бийск

В настоящее время области использования субмикронных аэрозольных систем разнообразны от медицинского до военно-промышленного применения [1-2]. Одной из актуальных задач физики аэрозолей является разработка методов и средств диагностики многофазных сред, представляющих собой облака аэрозолей и потоки газа со взвешенными твердыми или жидкими частицами конденсированной фазы. Наиболее перспективными остаются оптические методы, как не вносящие возмущений в исследуемую среду [3]. При этом в самых распространенных на сегодняшний день приборах анализ дисперсности может быть произведен только после отбора проб из исследуемой среды. В таких приборах важно обеспечить представительность отобранной пробы, то есть её соответствие реальному объекту исследования, что достаточно

трудно, а иногда невозможно осуществить, особенно для быстропротекающих процессов. Для жидкокапельных аэрозолей метод отбора проб в большинстве случаев вовсе не применим.

Исходя из вышеуказанного остается актуальной задача создания средства диагностики, удовлетворяющего следующим общим требованиям:

– возможность анализа *in situ* (на месте), а также проведения измерений в полевых условиях;

– универсальность (возможность анализа дисперсных сред как с жидкой, так и с газообразной дисперсионной средой);

– высокое временное разрешение (определение динамики изменения параметров неустановившихся дисперсных систем с высокими скоростями движения);

– большая длина оптического пути (до нескольких метров);

– возможность работы с оптически плотными средами.

В работе приведена методика бесконтактного определения средних размеров и концентрации частиц полидисперсных сред. Данная методика основана на измерении спектральных коэффициентов ослабления лазерного излучения дисперсной средой (облако аэрозоля, суспензия), для ограниченного набора длин волн лазерного источника зондирующего излучения и сопоставления полученных данных с теоретически рассчитанными значениями. Основополагающим является уравнение для спектральной оптической плотности (τ_λ) [4]:

$$\tau_\lambda = \frac{3\, C_m\, l\, \bar{Q}(\lambda, D_{32})}{2\, \rho\, D_{32}},$$

где λ – длина волны зондирующего излучения; C_m – массовая концентрация частиц; l – длина оптического пути; $\bar{Q}(\lambda, D_{32})$ – усредненный фактор эффективности ослабления; D_{32} – средний объемно-поверхностный диаметр частиц; ρ – плотность материала частиц.

На физическом уровне математическая модель описывает взаимодействие лазерного излучения с полидисперсной средой, используя теорию Ми. При этом методика основана на сохранении инвариантности усредненного фактора эффективности ослабления относительно вида функции распределения частиц по размерам. Также математический аппарат методики определения среднего размера частиц учитывает влияние ширины функции распределения частиц по размерам на усредненный фактор эффективности ослабления, что позволяет производить контроль методической погрешности определения средних размеров частиц дисперсных сред.

В работе приведено описание экспериментальной установки по определению средних размеров и концентрации частиц полидисперсных сред. Приведены результаты экспериментального исследования изменения во времени параметров аэрозольных сред. С помощью разработанной установки показана возможность исследования эволюции аэрозольной среды быстропротекающих и установившихся процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант мол_нр 16-32-50111).

Литература

1. Зуев Е.В., Кауль Б.В., Самохвалов И.В., Кирков К.И., Цанев В.И. Лазерное зондирование индустриальных аэрозолей. Новосибирск : Наука, 1986. 188 с.
2. C. Badiola, R.J. Gill, E.L. Dreizin. Combustion characteristics of micron-sized aluminum particles in oxygenated environments // Combustion and Flame. 2010. Vol. 157. P. 2015–2023.
3. Архипов В.А., Бондарчук С.С. Оптические методы диагностики гетерогенной плазмы продуктов сгорания : учеб. пособие. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2012. 265 с.
4. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С., Ворожцов Б.И., Павленко А.А., Потапов М.Г. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей // Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 48–52.

DOI: 10.17223/9785946215596/38

DEVELOPING A DYNAMICS MEASUREMENT PROCEDURE OF MEAN PARTICLE SIZES OF SUBMICRON AEROSOLS IN FAST AND STEADY-STATE PROCESSES

S.S. Titov, E.A. Metsler, A.A. Pavlenko, V.A. Arkhipov

Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IPCET SB RAS), Biysk

At present, the application fields of submicron aerosol systems are diverse, from medical to military-industrial uses [1, 2]. Among the topical problems of aerosol physics is the development of methods and tools for the diagnostics of multiphase media that represent aerosol clouds and gas flows with solid or liquid particulate matters of the condensed phase. The optical techniques remain the most promising as non-intrusive methods [3], in which case the instruments currently in most common use can analyze dispersity only after sampling of a medium under question. Those instruments should ensure that the sample collected is equivalent to the real object under examination – which is quite difficult and sometimes impossible to achieve, especially for fast processes. For liquid-droplet aerosols, the sampling method, in most cases, is by no means applicable.

Proceeding from the above said, the challenge of devising a diagnostics tool meeting the following general requirements persists being relevant:

- possibility of *in situ* analysis and measurements in the field conditions;
- versatility (analysis possibility of dispersion media with both liquid and gaseous particulates);
- high time-resolution (determination of parameter variation dynamics of non-steady dispersion systems with high movement velocities);
- long optical length (up to a few meters);
- possibility of handling optically dense media.

The present study introduces a contactless procedure for measuring mean particle sizes and concentration in polydisperse media. This procedure relies on measuring spectral coefficients of laser radiation attenuated by a dispersion medium (aerosol cloud, suspension) for a limited set of wavelengths

of the laser radiation source and for comparison between experimental data and calculated data. The equation for spectral optical density (τ_λ) is fundamental [4]:

$$\tau_\lambda = \frac{3\, C_m\, l\, \bar{Q}(\lambda, D_{32})}{2\, \rho\, D_{32}},$$

where λ is the probe radiation wavelength; C_m is the mass concentration of the particles; l is the optical path length; $\bar{Q}(\lambda, D_{32})$ is the averaged attenuation efficiency factor; D_{32} is the Sauter mean diameter; ρ is the density of the particles material.

Physically, the mathematical model describes an interaction between the laser radiation and the polydisperse medium, by using Mie's theory, the procedure being based on preservation of the invariance of the averaged attenuation efficiency factor relative to the particle size distribution function type. In addition, the mathematical apparatus of the procedure for measuring mean particle size takes into account how the particle size distribution function width influences the averaged attenuation efficiency factor, allowing the control of the procedural error in measuring mean particle sizes of polydisperse media.

The current work details a test setup for measuring mean particle sizes and concentration of polydisperse media. The results from the experimental study into the time variation of aerosol media parameters are given. With the setup developed, a possibility has been shown of examining the evolution of an aerosol medium in fast and steady-state processes.

Acknowledgements

The work was accomplished with support from the Russian Foundation for Basic Research (грант мол_нр 16-32-50111).

References

1. E.V. Zuev, B.V. Kaul', I.V. Samokhvalov, K.I. Kirkov, V.I. Tsanev. Laser probing of industrial aerosols. Novosibirsk: Nauka, 1986, p. 188.
2. C. Badiola, R.J. Gill, E.L. Dreizin. Combustion characteristics of micron-sized aluminum particles in oxygenated environments. Combustion and Flame, 2010, Vol. 157, p. 2015-2023.
3. V.A. Arkhipov, S.S. Bondarchuk. Optical methods for diagnostics of heterogeneous plasma of combustion products: Handbook. Tomsk: TSU, 2012, p. 265.
4. V.A. Arkhipov, I.R. Akhmadeev, S.S. Bondarchuk, B.I. Vorozhtsov, A.A. Pavlenko, M.G. Potapov. A modified spectral transparency method for aerosol dispersity measurement. Atomospheric and Ocean Optics, 2007, Vol. 20, No. 1, p. 48-52.

СЕКЦИЯ 4

Председатели: G. Gonthier, В.А. Архипов

4th SESSION

Co-chairs: G. Gonthier, V.A. Arkhipov

DOI: 10.17223/9785946215596/39

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ БЕЗАЗИДНОГО СОСТАВА ДЛЯ НАДДУВА ЭЛАСТИЧНЫХ ОБОЛОЧЕК СРЕДСТВ АВАРИЙНОГО СПАСЕНИЯ ЛЮДЕЙ

А.С. Жарков, Б.В. Певченко, Л.А. Пилюгин
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Одной из областей применения низкотемпературных газогенераторов (НТГГ) на твёрдых топливах являются средства спасения пассажиров летательных аппаратов при аварийной посадке на воду в акваториях (надувные плоты, лодки и т. п.). НТГГ предназначены для быстрого наддува этих средств. К газогенераторам такого назначения предъявляются весьма жёсткие требования по обеспечению высокой газопроизводительности (как правило, более 350 нл/кг), низкой температуры генерируемого газа (менее 100°С), пожаро-, взрывобезопасности самого газогенератора и генерируемых газов, нетоксичности используемого в ГГ топлива и генерируемых ГГ газов, сравнительно большого времени работы ГГ (как правило, более 100 с), широкого температурного диапазона эксплуатации (от минус 50 до плюс 50°С). При этом особенно жёстко ставятся требования по обеспечению минимальных массо-габаритных параметров. Достижение такого уровня характеристик в комплексе при создании НТГГ весьма проблематично. В настоящей работе представлены результаты исследования возможности создания конструкции НТГГ на основе безазидного состава с объёмом генерируемого газа 1400–1600 нл, удовлетворяющей указанным требованиям при минимально возможных массо-габаритных параметрах.

В проведенных исследованиях были рассмотрены конструкции НТГГ на основе различных способов получения холодных газов: 1) на основе разработанного АО «ФНПЦ «Алтай» способа получения холодных газов при фильтрационном режиме горения заряда из специальных твёрдых топлив [1], 2) на основе известного классического принципа получения холодных газов в НТГГ, сущность которого заключается в том, что высокотемпературные газообразные продукты сгорания заряда твёрдого топлива, горящего в обычном режиме послойного горения, пропускают через пористый газопроницаемый слой охладителя [2–3]. В исследованиях конструкций газогенераторов второго вида были использованы две существенно отличающиеся схемы конструкций: известная, используемая в практике схема конструкции НТТТ – с продольным расположением камеры сгорания (КС) и блока охладителя (БО) [2-3] и ранее разработанная нашим предприятием схема конструкции НТГГ, основанная на принципе коаксиального расположения КС и БО [4].

В рассмотренных конструкциях НТГГ было исследовано влияние использования различных топлив и охладителей, введения различных элементов в конструкции КС и БО, использования различных материалов в элементах конструкций ГГ на основные характеристики газогенераторов и их массо-габаритные параметры.

В результате проведенных исследований предложена конструкция газогенератора с использованием разработанных АО «ФНПЦ «Алтай» безазидного твёрдого топлива и охладите-

ля. Разработанная конструкция НТГГ позволяет обеспечить требуемый уровень основных показателей при сравнительно малой массе устройства (4–5 кг).

Литература

1. Патент РФ № 2507149 (РФ), МПК: C01B 3/00, 21/02, B01J 7/00. Способ получения холодных инертных газообразных продуктов сгорания твёрдотопливного заряда в газогенераторе / авторы: Жарков А.С. (РФ), Певченко Б.В., Пилюгин Л.А. (РФ) и др. // предприятие-заявитель: АО «ФНПЦ «Алтай», дата приоритета 21.08.20012 г.
2. Шандаков В.А., Жарков А.С., Стрельников В.Н. Пилюгин Л.А. и др. Физико-химические основы создания элементов снаряжения низкотемпературных газогенераторов различного назначения. М. : Физматлит, 2011.
3. Аксёненко Д.Д., Ваулин С.Д., Зезин В.Г., Кириллов В.В., Мазитов Р.З., Марьяш В.И. и др. Теоретическое и экспериментальное исследование низкотемпературных газогенераторов / под ред. А.М Липанова. Ижевск : ИПМ УрО РАН, 2008. 264с.
4. Патент РФ № 2383489 (РФ), МПК: C01B 13/02. Способ получения холодного газообразного кислорода и устройство для его осуществления / авторы: Жарков А.С (РФ), Шандаков В.П (РФ), Пилюгин Л.А. (РФ), Ван ден Берг Рональд (NL), Лоуренс Даниел ван Влиет (NL) // предприятия-заявители: АО «ФНПЦ «Алтай», TNO-PML (NL); дата приоритета 21.01.2008 г.

DOI: 10.17223/9785946215596/39

DEVELOPMENT OF COMPACT LOW-TEMPERATURE GAS GENERATOR BASED ON AZIDE-FREE COMPOSITION FOR THE INFLATION OF ELASTIC BAGS TO RESCUE PEOPLE IN ACCIDENTS

A.S. Zharkov, B.V. Pevchenko, L.A. Pilyugin
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

One of the application fields of low-temperature gas generators (LTGG) based on solid propellants is rescue equipment for people in aircrafts in case of emergency water landing (inflatable boats, rafts etc.). LTGG are used for their fast inflation. Strict requirements are presented to these gas generators such as high gas capacity (as a rule, more than 350 nl/kg), low temperature of generating gas (lower than 100°C), fire- and explosion safety of the gas generator itself and generating gases as well, nontoxic propellant used in GG and generated gases by GG, relatively long period of operation (as a rule, more than 100sec.), wide temperature range of use (from minus 50 to plus 50°C). Assuring of minimal mass and overall parameters is of special importance. To meet all these requirements when developing LTGG is quite a difficult task.

The following report presents the study results of possible creation of LTGG construction based on azide-free composition with 1400-1600 nl volume of generated gas, answering the specified requirements with minimally possible mass and overall parameters.

LTGG constructions based on different methods of producing of cold gases were used during the study: 1) on the basis of the developed at JSC FR&PC "ALTAI" method of producing of cold gas-

es under seepage burning conditions of the charge from special solid propellants [1], 2) on the basis of the famous classical method of obtaining of cold gases in LTGG, which main idea is the following: high-temperature gaseous combustion products of solid propellant, burning under normal conditions of laminar burning, are leaked through the porous gas-permeable layer [2-3]. The two substantially different diagrams of construction were used when studying the second type gas generator construction: one of them is the famous, used in practice, LTGG construction diagram – with longitudinally laid combustion chamber (CC) and coolant unit (CU) [2-3], the other one is the early developed at our enterprise construction diagram of LGTT, based on the principle of coaxial location of CC and CU [4].

The influence of using of different propellants and coolants, insertion of different elements into the CC and CU constructions, different materials in GG construction elements on the main characteristics of gas generator and their mass and overall parameters was studied.

According to the obtained results, the gas generator construction with the developed at FR&PC "ALTAI" azide-free solid propellant and coolant was suggested. This construction allows ensuring the required level of the main parameters with relatively low mass of the article (4-5 kg).

References

1. RF Patent No 2507149 (RF), MPK: C01B 3/00, 21/02, B01J 7/00. Method of obtaining of cold inert gaseous combustion products of solid propellant charge in gas generator / A.S. Zharkov (RF), B.V. Pevchenko, L.A. Pilyugin (RF) et. al. // petitioner: JSC FR&PC "ALTAI", date of priority 21.08.20012.
2. V.A. Shandakov, A.S. Zharkov, V.N. Strelnikov, L.A. Pilyugin and et.al. Physico-chemical bases to develop products of low-temperature gas generators for different purpose. M. : Physmathlit, 2011.
3. Theoretical and experimental study of low-temperature gas generators / ed. by A.M. Lipanova / D.D. Aksyonenko, S.D. Vaulin, V.G. Zezin, V.V. Kirillov, R.Z. Mazitov, V.I. Maryash et. al. Izhevsk : IPM UB RAS, 2008. 264 p.
4. Patent RF 2383489 (RF), MPK: C01B 13/02. Method of obtaining of cold gaseous oxygen and equipment for its realization. /authors:A.S. Zharkov (RF), V.A. Shandakov (RF), L.A. Pilyugin (RF), Van Den Berg Ronald (NL), Lawrence Daniel van Wliet (NL) // petitioner: JSC FR&PC "ALTAI", TNO-PML (NL); date of priority 21.01.2008.

DOI: 10.17223/9785946215596/40

INVESTIGATION OF NITRATE BASED ENERGETIC IONIC LIQUIDS AS PLASTICIZERS

Uwe Schaller, Thomas Keicher, Horst Krause, Stefan Loebbecke
Fraunhofer Institut Chemische Technologie (ICT), Germany

Salts being liquid below 100 °C are defined as ionic liquids. They are receiving an increasing interest due to their unique properties and they are also under investigation in the field of energetic materials. Combining nitrogen-rich cations and oxygen-rich anions, it is possible to obtain energetic ionic liquids (EILs). Potential applications are plasticizers, high explosives, gun and rocket propellants. Because of the very low vapor pressure of EILs better storage and handling properties are expected.

However, only few work has been done in the field of EILs which show a glass transition temperature less than or equal to -40 °C, the so called low-temperature EILs (LT-EILs). Potential applications and limitations of LT-EILs based on 4-Amino-1-methyl-1,2,4-triazolium nitrate are presented. Some compounds of this class are studied as plasticizers in energetic binder systems (nitrocellulose and glycidyl azide polymer) and are compared to traditional energetic plasticizers like BDNPA/F and TMETN/BTTN.

DOI: 10.17223/9785946215596/41

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ К РЕШЕНИЮ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ВНЕШНЕЙ БАЛЛИСТИКИ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ

С.А. Королев, И.Г. Русяк, В.А. Тененев

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск

Вопросы гражданского применения технологий специального назначения представляют определенный практический интерес. Так, например, для решения задачи быстрой доставки негабаритных грузов на большие расстояния и в труднодоступные места может быть применена артиллерийская техника. При этом точность доставки в определенной мере зависит от точности решения прямой и обратной задачи внешней баллистики.

Прямая задача внешней баллистики состоит в вычислении траектории движения снаряда при заданных параметрах выстрела (характеристики снаряда, координаты орудия и направление стрельбы) и известном состоянии атмосферы (давление, температурные и ветровые показатели). Математическая модель прямой задачи внешней баллистики описана в [1, 2].

В общем случае обратная задача заключается в определении угла стрельбы θ_0 и директионного угла $\alpha_ц$ при известном расположении цели и скорости ее перемещения. Важную роль при определении этих параметров играет учет аэродинамического взаимодействия снаряда с воздухом атмосферы и геофизических условий стрельбы.

Прямую задачу внешней баллистики представим в виде преобразования

$$\mathbf{L} = \left(\mathbf{P}_к, \tau_к\right) = \mathbf{\Phi}\left(\mathbf{P}_0, \theta_0, \alpha_ц, \mathbf{A}\right), \quad (1)$$

где $\mathbf{P}_0 = \left(X_0, Y_0, Z_0\right)$ – начальная точка стрельбы (координаты орудия); $\mathbf{P}_к = \left(X_к, Y_к, Z_к\right)$ – конечная точка стрельбы (координаты цели); $\tau_к$ – время полета снаряда. Вектор **A** содержит характеристики снаряда, положение орудия и атмосферные данные. Точность решения прямой задачи внешней баллистики определяется, в первую очередь, точностью определения аэродинамических коэффициентов сопротивления метаемых тел [3].

Обратная задача заключается в нахождении обратного преобразования

$$\mathbf{Q} = \left(\theta_0, \alpha_ц, \mathbf{P}_к, \tau_к\right) = \mathbf{\Phi}^{-1}\left(\mathbf{P}_0, \mathbf{P}_ц^0, \mathbf{V}_ц, \mathbf{A}\right), \quad (2)$$

где $\mathbf{P}_{\text{ц}}^{0} = \left(X_{\text{ц}}^{0}, Y_{\text{ц}}^{0}, Z_{\text{ц}}^{0}\right)$ – начальные координаты цели; $\mathbf{V}_{\text{ц}} = \left(V_{1\text{ц}}, V_{2\text{ц}}, V_{3\text{ц}}\right)$ – скорость перемещения цели в геодезической системе координат. В данном случае время $\tau_{\text{к}}$ представляет собой сумму времени подготовки данных, решения обратной задачи и полета снаряда.

Для численного решения задачи (1), представляющей собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений, применен метод Рунге-Кутта-Вернера 6-го порядка точности с контролем погрешности вычислений [4].

При решении обратной задачи (2) рассматриваются два подхода. В первом подходе используется итерационный метод последовательных приближений на основе метода хорд. При этом на каждом шаге итерационного алгоритма необходимо решать прямую задачу внешней баллистики. Путем параллельного поиска углов θ_0 и $\alpha_{\text{ц}}$ удается уменьшить общее время решения задачи. Данный алгоритм позволяет найти решение задачи для заданных условий стрельбы с любым требуемым уровнем точности. Однако время расчетов может быть неприемлемым при использовании в боевых условиях.

Второй вариант решения обратной задачи внешней баллистики основан на использовании предварительно разработанной базы знаний. Современные технологии извлечения знаний из данных позволяют применить методы для аппроксимации нелинейных зависимостей с большим количеством влияющих факторов. Имея алгоритм численного решения задачи (1), можно провести большую серию расчетов для рассматриваемой артиллерийской системы с изменением не только величины θ_0, но и параметров вектора **A**: направления α_w и скорости w ветра, географической широты B, дирекционного угла $\alpha_{\text{ц}}$ и др. Таким образом, для анализа получаем таблицу данных:

$$\left(\mathbf{x}^h; \mathbf{L}^h\right) = \left(\theta_0^h, \alpha_{\text{ц}}^h, \alpha_w^h, w^h, B^h; X_{\text{к}}^h, Y_{\text{к}}^h, Z_{\text{к}}^h, \tau_{\text{к}}^h\right),\ h = \overline{1, H},$$

где H – объем выборки.

Полученная выборка делится на две части: обучающую и тестовую. На обучающей выборке проводится обучение аппроксиматоров переменных $\mathbf{L} = \left(X_{\text{к}}, Y_{\text{к}}, Z_{\text{к}}, \tau_{\text{к}}\right)$, а на тестовой выборке проверяется адекватность модели.

Рассматривалось несколько типов аппроксиматоров: линейный, многослойная нейронная сеть, радиальная сеть, метод нечетких деревьев решений [5]. Лучшие результаты по точности и скорости вычислений показал аппроксиматор на основе многослойной нейронной сети.

Разработанные алгоритмы решения прямой и обратной задач внешней баллистики в зависимости от предъявляемых требований позволяют обеспечить высокую точность и оперативность решения задачи и могут быть применены как в боевых условиях, так и в случае конверсии военных технологий для гражданского применения.

Литература

1. Дмитриевский А.А., Лысенко Л.Н. Внешняя баллистика. М. : Машиностроение, 2005. 608 с.
2. Русяк И.Г., Карпов А.И., Королев С.А., Карсканов С.А. Расчет траектории движения снаряда в атмосфере с учетом гидродинамики его обтекания // Вопросы оборонной техники. Серия 14. М. : НТЦ «Информтехника», 2015. Вып. 2. С. 130–141.
3. Королев С.А., Карсканов С.А. Математическое моделирование обтекания тела вращения сверхзвуковым потоком газа. // Вестник Удмуртского университета. Серия «Математика. Механика. Компьютерные науки». 2014. № 3. С. 123–133.
4. Hairer E., Nørsett S.P., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations. Berlin: Springer-Verlag, 1991. Vol. 1. 528 p.
5. Тененев В.А., Якимович Б.А. Генетические алгоритмы в моделировании систем. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2010. 308 с.

DOI: 10.17223/9785946215596/41

DEVELOPMENT OF APPROACHES TO SOLUTION OF INVERSE PROBLEM OF EXTERNAL BALLISTICS IN DIFFERENT USING CONDITIONS

S.A. Korolev, I.G. Rusyak, V.A. Tenenev

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk

Issues of civil application of special purposes technologies have certain practical interest. For example, the artillery equipment can be applied in solving the problem of fast delivery of small-sized cargo over long distances and at hard to reach areas. At the same time the accuracy of delivery depends definitely on the accuracy of solving the direct and inverse problems of external ballistics.

The direct problem of external ballistics is to calculate the trajectory of projectile movement at the given parameters of the shot (characteristics of the projectile, coordinates of the gun and shooting direction) and the known state of the atmosphere (pressure, temperature and wind). Mathematical model of the direct problem of external ballistics is described in [1, 2].

In general case the inverse problem is to determine the angle of the shot θ_0 and direction angle α_c at a known position of the target and its velocity. An important role in determining of these parameters is an accounting of aerodynamic interaction between the projectile and the atmosphere air and geophysical conditions of the shooting.

The direct problem of external ballistics can be represented as a transformation

$$\mathbf{L} = (\mathbf{P}_k, \tau_k) = \mathbf{\Phi}(\mathbf{P}_0, \theta_0, \alpha_c, \mathbf{A}), \quad (1)$$

where $\mathbf{P}_0 = (X_0, Y_0, Z_0)$ is an initial shooting point (coordinates of the gun); $\mathbf{P}_k = (X_k, Y_k, Z_k)$ is a final shooting point (coordinates of the target); τ_k is a time of projectile flying. Vector **A** contains the characteristics of the projectile, position of the gun and atmospheric data. The accuracy of solving the

direct problem of external ballistics is determined primarily by the accuracy of determining of aerodynamic coefficients for the missile bodies [3].

The inverse problem is to find the inverse transformation

$$\mathbf{Q} = (\theta_0, \alpha_c, \mathbf{P}_k, \tau_k) = \mathbf{\Phi}^{-1}(\mathbf{P}_0, \mathbf{P}_c^0, \mathbf{V}_c, \mathbf{A}), \quad (2)$$

where $\mathbf{P}_c^0 = (X_c^0, Y_c^0, Z_c^0)$ are initial coordinates of the target; $\mathbf{V}_c = (V_{1c}, V_{2c}, V_{3c})$ is velocity of the target motion in geodetic coordinate system. In this case, time τ_k is a sum of time of data preparation, solving the inverse problem and flying of the projectile.

The numerical solution of the direct problem (1), which is a system of ordinary differential equations, uses 6th order Runge-Kutta-Verner method with the control of computation error [4].

We consider two approaches to solve the inverse problem (2). The first approach uses an iterative method of successive approximations based on the chord method. Herewith each step of iterative algorithm requires the solving of the direct problem of external ballistics. The parallel search of the angles θ_0 and α_c allows to reduce the total time for solving the problem. This algorithm allows to find the solution of the problem for a given shooting conditions with any required level of accuracy. However, the calculation time can be unacceptable for use in battle conditions.

The second approach for solving the inverse problem of external ballistics is based on the use of previously developed knowledge base. The modern technologies of the knowledge extraction from data allow to apply the methods for approximate non-linear dependencies with a large number of influencing factors. The numerical solution algorithm for problem (1) provides extensive series of calculations for the given artillery system with the change both the value θ_0 and parameters of the vector **A**: wind direction α_w and speed w, geographical latitude B, directional angle α_c and others. Thus, we obtain the following data table:

$$(\mathbf{x}^h; \mathbf{L}^h) = (\theta_0^h, \alpha_c^h, \alpha_w^h, w^h, B^h; X_k^h, Y_k^h, Z_k^h, \tau_k^h), \; h = \overline{1, H},$$

where H is a sample size.

Obtained sample is divided into the two parts: training and testing. The training sample provides the study of variables approximators $\mathbf{L} = (X_k, Y_k, Z_k, \tau_k)$, the testing sample checks the adequacy of the model.

Several types of approximators was considered: linear, multi-layer neural network, radial network, the method of fuzzy decision trees [5]. The best results in accuracy and calculation speed are shown by the approximator based on a multi-layer neural network.

Developed algorithms for solving direct and inverse problems of external ballistics with accordance to the imposed requirements ensure high accuracy and speed of solving the problem and can be applied both in battle conditions and in the case of the conversion of military technologies to civilian use.

References

1. Dmitriyevskiy A.A., Lysenko L.N. External Ballistics. Moscow, Mashinostroenie, 2005. 608 p.
2. Rusyak I.G., Karpov A.I., Korolev S.A., Karskanov C.A. Calculation Trajectory of Projectile in the Atmosphere taking into account Hydrodynamics of the External Flow // Enginery Problems. Issue 14. Moscow: Informtechnica, 2015. No 2. P. 130–141.
3. Korolev S.A., Karskanov C.A. Mathematical Simulation of Supersonic Airflow around the Rotary Body // Vestnik Udmurtskogo Universiteta. Matematika. Mekhanika. Komp'yuternye Nauki. Izhevsk: USU, 2014. No 3. P. 123–133.
4. Hairer E., Nørsett S.P., Wanner G. Solving Ordinary Differential Equations. Berlin: Springer-Verlag, 1991. Vol. 1. 528 p.
5. Tenenev V.A., Yakimovich B.A. Genetic Algorithms in System Modeling. Izhevsk, ISTU, 2010. 308 p.

DOI: 10.17223/9785946215596/42

EMISSION SPECTROSCOPY ON PYROTECHNIC MIXTURES

S. Knapp*, A. Koleczko, S. Kelzenberg, E. Roth, A. Raab, V. Weiser
Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Germany

Pyrotechnic mixtures mostly consist of systems of fuel and oxidizer particles with defined mixture ratios and particle sizes. After ignition by a defined energy input, they react highly exothermic with a high energy release in a combustion process and produce a bright shining reaction zone with light emission from UV till the far MIR. Especially for colorful emission and high temperatures, metals or metal compounds are used. Emission spectroscopy is a well-known experimental measurement technique to examine the reaction zone and burning behavior of such mixtures. By analyzing the resulting emission spectra, valuable information can be obtained: the intermediate and end product occurrence, the particles' surface and gas phase temperature, the emissivity, the radiation of energy, the CIE-color, and the reaction mechanism. In the case of pyrotechnic mixtures, most of this information can be received from the emitted light in the UV/VIS wavelength range. In the gas phase of the reaction, the intermediate products, e.g. atoms and diatomic molecules, emit because of a stimulated electronic transition. In the UV/VIS wavelength range, they show atomic lines and diatomic molecule band systems. The background emission is usually gray body radiation of the solid particles. Because of the high temperature, the maximum of the gray body function is in the near-infrared wavelength range and therefore, it is still visible in the UV/VIS range. By analyzing the received UV/VIS spectra of experiments, the chronological occurrence of different species can be reconstructed. The gas phase temperature and the molecules emissivity can be obtained by modeling the spectrum from the atomic lines and the diatomic molecule band systems.

DOI: 10.17223/9785946215596/43

НАНОСТРУКТУРНЫЕ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОСТОЙКИЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАПЫЛЕНИЯ

Д.А. Романов, В.Е. Громов

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Существует проблема повышения электроэрозионной стойкости тяжелонагруженных контактных поверхностей. Электроэрозионный износ – это износ металлических изделий, при котором под воздействием искрообразования и возникновения электрической дуги возникает локальное оплавление и разбрызгивание металла, в результате чего металлическое изделие нарушает свою целостность, изменяет размеры и форму. На кафедре физики имени профессора В.М. Финкеля ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет» развивается направление электровзрывного напыления наноструктурных покрытий на контактные поверхности электротехнического назначения.

Поскольку процесс разрушения материала начинается с его поверхности, для ряда практических применений, например, защиты контактных поверхностей средне- и тяжелонагруженных выключателей и коммутационных аппаратов, перспективно напыление наноструктурных покрытий, поскольку в этом случае важна электроэрозионная стойкость только поверхности контакта, а не всего объема. Реализовать в одном материале многообразный и противоречивый комплекс свойств, которыми должен обладать электроконтактный материал позволяет использование метода электровзрывного напыления наноструктурных износо- и электроэрозионностойких покрытий на медные электрические контакты.

Установка, используемая для электровзрывного напыления включает две основные части – емкостной накопитель энергии (или батарея конденсаторов) и импульсный плазменный ускоритель. Процесс напыления включает заряд накопителя до определенного значения и его разряд на металлическую фольгу. В результате чего происходит электрический взрыв фольги. Взрываемые фольги могут быть из разных металлов – меди, молибдена и др. При этом с помощью плазменного ускорителя происходит формирование импульсной плазменной струи. Продукты взрыва содержат как плазменный компонент, так и конденсированные частицы, которые располагаются преимущественно в тылу струи. При взаимодействии плазменного фронта струи с поверхностью она нагревается, после чего конденсированные частицы осаждаются на ней.

Примером формирования покрытий с использованием фольг является напыление медных покрытий на контактные поверхности алюминиевых кабельных наконечников. Это промышленный образец – наконечник без покрытия и наконечник с покрытием (демонстрирую). Максимальная площадь обрабатываемой поверхности составляет 30 см^2. Использование этих наконечников с напыленным электровзрывным наноструктурным покрытием позволяет увеличить их долговечность.

Для материалов электрических контактов характерно сочетание разнообразных и одновременно несовместимых требований. Для них, например, необходимы высокие твердость, темпера-

тура плавления, электро- и теплопроводность, электроэрозионная и коррозионная стойкость. В настоящее время, разработано большое количество электроконтактных материалов для их применения в разнообразных условиях эксплуатации. Чередующееся напыление слоев молибдена и меди позволяет сформировать не только единичный слой покрытия, как в случае с наконечником, а формирование уже композиционных покрытий со слоистой структурой. Эти покрытия представляют собой чередующиеся слои молибдена и меди. Медь, обладает высокой электропроводностью, а молибден – высокой электроэрозионной стойкостью. Толщина слоев меди и молибдена может задаваться с учетом требований эксплуатации электрических контактов. На границах слоев меди и молибдена и молибдена с основой вследствие термосилового воздействия плазменной струи на поверхность, нагреваемую до температуры плавления, формируется волнообразный рельеф. Поэтому эти покрытия обладают высокой адгезией, то есть они не отваливаются. Аналогичные наноструктурные покрытия со слоистой структурой получены для системы W-Cu.

В области взрыва фольги можно также помещать порошковые навески того или иного вещества, которые переносятся на облучаемую поверхность. Например, если разметить на медной фольге порошок вольфрама или молибдена, то будут формироваться композиционные покрытия с наполненной или по-другому дисперсно-упрочненной структурой. Такая структура представляет собой металлическую матрицу с расположенной в ней наноразмерными упрочняющими включениями – в нашем случае это наноразмерные включения вольфрама или молибдена в медной матрице. Размер этих включений начинается от нескольких нанометров. Это позволяет говорить о том, что получаемые покрытия относятся к нано материалам, а технология электровзрывного напыления к нано технологиям.

Для электрических контактов силового шахтного оборудования помимо электроэрозионной стойкости требуется повысить износостойкость покрытий систем Mo-Cu и W-Cu. Повышение износостойкости достигается синтезом при напылении наноразмерных карбидов молибдена или вольфрама. Это достягается путем размещения в области взрыва помимо порошка вольфрама порошка углерода. При напылении вольфрам или молибден взаимодействуют с углеродом в результате чего формируются износостойкие наноразмерные карбиды молибдена или вольфрама. Требованием этих электрических контактов также отвечают наноструктурные покрытия полученные с использованием порошков готовых соединений, например диборида титана. Все результаты по электровзрывному напылению наноструктурных покрытий на контактные поверхности электротехнического назначения, полученные к настоящему времени является новыми, прорывными результатами, не имеющими аналогов в мировой практике. Перечисленные способы защищены 30 патентами на изобретения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60032 мол_а_дк, при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-4166.2015.2, госзаданий Минобрнауки №№ 2708 и 3.1496.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы. Данная работа была выполнена с частичным использованием оборудования Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ.

DOI: 10.17223/9785946215596/43

NANOSTRUCTURE COATINGS RESISTANT TO ELECTROEROSION OBTAINED BY ELECTROEXPLOSIVE SPRAYING

A.D. Romanov, V.E. Gromov
Siberian state industrial university, Novokuznetsk

There is a problem of increasing electroerosive resistance of heavy duty contact surfaces. Electroerosive wear is metallic details wear expressing as local melting and scattering under the influence of sparking and occurrence of electric arcing, causing metallic product breach, changes of its size and shape. Department of Physics named after Professor V.M. Finkel of Siberian state industrial university is providing research in electroexplosive spraying of nanostructure coatings on contact surfaces of electrical function.

As long as material wear process starts with its surface, nanostructured coatings spraying is promising for a number of practical applications, such as protection of contact surfaces and medium- and heavy loaded circuit breakers and switching devices, since in this case electroerosive resistance of the contact surface only, but not of the overall volume is important. Using method of electroexplosive spraying of nanostructure wear and electroerosively resistant coatings on copper electrical contacts enables creation of diverse and contradictory set of properties in one material that electrocontact material should possess.

Electroexplosive spraying installation comprises of the two main parts - capacitive energy storage (or capacitor battery) and pulse plasma accelerator. Spraying process involves charging of storage device to a certain value and its discharge on the metal foil. As a result, foil electric explosion takes place. Exploding foils can be made of different metals - copper, molybdenum, etc. At this time, plasma accelerator forms pulse plasma jet. Explosion products contain a plasma component and condensed particles, which are located mainly in the rear of the jet. Interacting with the surface plasma front of the jet is heating, after that condensed particles settle down on the surface.

Copper coatings spraying on contact surfaces of aluminum cable lug is an example of coatings production using foils. This is an industrial sample – an uncoated lug and coated lug (demonstration). Maximum area of treated surface is 30 cm^2. The lugs sprayed by electroexplosive nanostructure coatings have increased durability.

Combination of diverse and incompatible requirements is typical for electrical contact materials. For example, high hardness, melting point, electrical and thermal conductivity, electroerosion and corrosion resistance are required. At the moment, large number of electro-contact materials for variety of operating conditions is developed. Alternate spraying of molybdenum and copper layers do not only allow creation of one layer coating, as is the case with the lug, but also enables generation of composite coatings with lamellar structure. These coatings comprise of alternating layers of molybdenum and copper. Copper has high electrical conductivity, and molybdenum has high electroerosion resistance. Thickness of the copper and molybdenum layers can be set to meet electrical contacts operation requirements. At the borders of the copper and the molybdenum layers, the molybdenum and the

base layers undulate relief is formed due to thermal power impact of plasma jet to the surface heated to the melting point. Therefore, these coatings have high adhesion, and do not fall off. Similar nanostructure coatings with lamellar structure are obtained for the W-Cu system.

It is also possible to put powder charge of any substance to be transmitted to irradiated surface in foil explosion area. For example, placing tungsten or molybdenum powder on copper foil allows generation of composite coatings with filled or disperse-strengthened structure. The structure is a metal matrix with hydrochloric reinforcing nanoscale inclusions, in this case, nano-dimensional molybdenum or tungsten inclusions within the copper matrix. The size of these inclusions starts from several nanometers. This enables suggestions that the resulting coatings are nano materials and technology of electroexplosive spraying refers to nanotechnology.

For electrical contacts of mining power equipment in addition to electro-erosion resistance it is required to increase wear resistance of the Mo-Cu and W-Cu coatings systems. Increased wear resistance is achieved by synthesis at spraying of nano-size carbides of molybdenum or tungsten. It is achieved by placing carbon powder in addition to tungsten powder in the explosion area. During spraying tungsten or molybdenum react with carbon and form wear-resistant nanosize carbides of tungsten or molybdenum as a result. Nanostructure coatings produced using finished powders of compounds such as titanium diboride also meet requirement of these electrical contacts. All results obtained so far for electro-explosive spraying of nanostructure coatings on contact surfaces of electrical function, are new, breakthrough results that have no analogues in the world practice. All the described technologies are protected by 30 patents for inventions.

The study was sponsored by RFBR in the framework of research project number 16-32-60032 mol_a_dk, with the financial support of the MK-4166.2015.2 Grant of the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists with academic degree of Candidate of Sciences, the state orders of the Ministry of Education № 2708 and 3.1496.2014/K for R&D work. Current work was carried out partially using equipment of the SibSIU Material science sharing center.

DOI: 10.17223/9785946215596/44

РАЗРУШЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ СПУТНИКОВ, ОТРАБОТАВШИХ НА ОКОЛОЗЕМНОЙ ОРБИТЕ

К.А. Моногаров[1], А.Н. Пивкина[1], Н.В. Муравьев[1], А.А. Брагин[1], Ю.В. Фролов[1], Д. Дильян[2]

Институт химической физики им.Н.Н. Семенова Российской академии наук, г. Москва
[2]Национальный Центр Космических Исследований (CNES), Франция

Количество объектов на низкой околоземной орбите, в том числе, отработавших спутников, неуклонно возрастает. Отработавшие спутники (или их части) неконтролируемо падают, попадают в плотные слои атмосферы, и, как правило, сгорают. Однако отдельные части спутников не сгорают или сгорают не полностью, что нежелательно как с точки зрения безопасности, так и по экологическим причинам. Так, упавшие на Землю обломки Skylab в 1979, спутника Космос в 1978, и второй ступени Delta II в 1997 показали, что, несмотря на то, что летательный аппарат значительно разрушается при входе в плотные слои атмосферы, заметное число обломков долетают до Земли. Это обусловлено, тем, что детали спутников, например, топливные баки, изготавливают из материалов с высокой температурой плавления – нержавеющая сталь, титан.

При движении в плотных слоях атмосферы на высоте около 60 км при давлении 60 Па температура титанового бака достигает 1000°С. Температура инициирования горения титанового сплава на воздухе – 1200°С, а температура плавления – 1660°С. Воспламенение титанового сплава осложняется наличием оксидного слоя TiO_2 на поверхности, который ограничивает диффузию активных газов к титану. Дополнительно горение титана осложнено теплопотерями на излучение (коэффициент излучения этого материала очень высок) и теплопроводность.

Одним из способов решения проблемы является применение пиротехнических составов для инициирования и поддержания процесса горения или плавления отработавших титановых баков. Целью работы является демонстрация возможности использования термитных составов для разрушения титановых топливных баков при входе в плотные слои атмосферы путем инициирования горения или плавления титанового сплава.

Отбор термитных составов проведен в три этапа. На первом этапе из известных термитных составов были отброшены имеющие в составе легколетучие, радиоактивные, щелочные и редкоземельные компоненты. В результате термодинамического расчета для оставшихся 38 составов получена адиабатическая температура сгорания, определена теплоёмкость продуктов и доля конденсированной фазы. На следующем этапе отбора предложено использовать отношение массы пиротехнического заряда, необходимой для нагрева пластины до определенной температуры к массе титановой пластины (M_x). Оценка величины M_x произведена для двух случаев: нагрев пластины до температуры воспламенения титана (1200°С) и до плавления пластины (1660°С). В результате, для третьего этапа отобраны 16 составов, для которых $M_1 \leq 1{,}05$. На третьем этапе проведён термодинамический расчёт горения термитов при давлении 60 Па и

отобраны 6 композиций, удовлетворяющих критерию самоподдерживающегося горения (T_{ad} > 1800 К) и содержащие максимальное количество конденсированных продуктов сгорания.

Для отобранных композиций определена температура воспламенения термитных составов и исследовано их воздействия на титановые пластины размером 20х20 мм в атмосфере воздуха при давлении 60 Па. Для всех экспериментально исследованных составов проведены тесты на вакуумную стабильность, химическую совместимость с титановым сплавом и на чувствительность к трению, удару и электростатическому разряду. Установлено, что составы удовлетворяют необходимым требованиям и могут использоваться в космических устройствах. Однако, как показали эксперименты, требуемое разрушение титановой пластины достигается только при использовании состава Al/Co_3O_4.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность автономного разрушения титановых баков путем их плавления при входе в плотные слои атмосферы при помощи термитного состава.

DOI: 10.17223/9785946215596/44

UNCONTROLLED RE-ENTRY OF SATELLITE PARTS AFTER ITS MISSION ON LEO: DESTRUCTION BY THERMITE REACTION ENERGY RELEASE

K.A. Monogarov[1], A.N. Pivkina[1], N.V. Muravyev[1], A.A. Bragin[1], Yu.V. Frolov[1], D. Dilhan[2]

[1]*Semenov Institute of Chemical Physics, RAS, Moscow*
[2]*Centre national d'études spatiales, Toulouse, France*

The use of pyrotechnic compositions, *i.e.*, thermites is proposed to reduce the risk of the fall of thermally stable parts of deorbiting end-of-life LEO satellites on the Earth. The main idea is to use passive heating during uncontrolled re-entry to ignite thermite composition, which reacts with energy release sufficient to burn out holes in the titanium cover. It is supposed, that thus destructed satellite parts will lose their streamline shape, and will be definitely burned out being aerodynamically heated during further descending in atmosphere. With a baseline of 132 pre-selected thermite formulations by applying 3 levels of exclusion parameters including toxicity, volatility, non-solid reaction products, etc.. Thermodynamic calculations at ambient and at re-entry temperatures and pressure, alone with the calculated mass ratio efficiency have allowed to select six compositions for further manufacturing and experimental testing using the programmed laser heating source and vacuum chamber. Finally, the possibility of the only one of thermite compositions, i.e., Al/Co_3O_4 to initiate and maintain the phenomenon of titanium plate melting has been demonstrated. Special tests reveal the proposed thermite composition to meet the safety requirements according to corresponding standards. Thus, thermite compositions are perspective to destruct the after-mission LEO satellite structures.

DOI: 10.17223/9785946215596/45

METHOD FOR DETERMINING EXPLOSIVE REACTION RATE PARAMETERS

Christelle COLLET
AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS
Research Center of Le Bouchet, France

In the early 80's, E. L. Lee and C. Tarver developed the Ignition and Growth model, an homogeneous description of the explosive reaction rate, able to improve the reliability of detonation calculations. According to its three $a_i P^{n_i}$ stages, this model can be seen as the description of the $\dot{F} = f(F,P)$ equation into a pressure base.

A least squares method coupled with LS-DYNA simulations of some chosen Pop plot run distances allow us to adjust its significant parameters in a domain covering low to high pressures.

The resultant fitted $f(F,P)$ model capacity to predict other classical detonation transitions is demonstrated on Failure Diameter, different Gap Test scales and Flying Plate impacts.

The method is successfully used on three different explosive compositions, including various aluminium, ammonium perchlorate, and RDX concentrations. It confirms that the Lee-Tarver Ignition and Growth model is able to predict the explosive reaction rate from low to high pressures with the same parameters.

A meshing rule is also developed and validated to satisfy both 1D identification simulations.

DOI: 10.17223/9785946215596/46

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КУМУЛЯТИВНОЙ СТРУИ С МАТЕРИАЛАМИ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ПРЕГРАДЫ

Д.А. Наумов[1], В.Ю. Мелешко[2], В.И. Блинов[1], В.Г. Ларин[1], В.О. Грек[1]
[1]*Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Балашиха*
[2]*Институт химической физики имени Н.Н. Семенова РАН, г. Москва*

Для совершенствования средств противокумулятивной защиты необходимо знание параметров взаимодействия кумулятивной струи с материалами многокомпонентной преграды.

Предлагаемая для этого методика включает три этапа. На первом этапе выполняется расчет давлений в зоне контакта фрагмента кумулятивной струи (*Cu)* и материала преграды [1]. В качестве материалов преграды рассматривались: медь, сталь, керамика на основе оксида алюминия Al_2O_3 керамика на основе карбида кремния SiC, карбида бора B_4C, нитрида кремния Si_3N_4, нитрида бора BN. Керамические материалы представляют большой интерес в качестве материала противокумулятивной защиты за счет их очень высокой твердости (близкой к алмазу), высокой прочности, низкой плотности [2].

В качестве химически активного наполнителя пористой керамики исследовались: сера S, нитрат калия KNO_3, нитрат натрия $NaNO_3$.

Результаты расчета показали, что в очаге контакта фрагмента КС с преградой в зависимости от скорости соударения от 2000 до 8000 м/с реализуются давления от 47 до 362 ГПа в материале струи (Cu); от 44 до 271 ГПа в керамике; от 12 до 108 ГПа – в окислительной среде.

Второй этап методики – расчет температуры в зоне контакта фрагмента кумулятивной струи с преградами основан на теоретических положениях Я.Б. Зельдовича [3].

Конкретный термодинамический метод оценки температуры ударного сжатия конденсированной среды предложен В.С.Трофимовым [4].

Сначала рассчитывается остаточная температура T^*, до которой разогревается вещество в результате прохождения по нему ударного фронта с амплитудой P_1 и последующей разгрузки до исходного давления $P = 0$.

Используя идею, высказанную в [3], определяется температура на ударной адиабате T по температуре разгрузки T^*.

Для расчетов температуры по этой методике был разработан алгоритм и программа на языке Turbo – Passcal. Используя программу, был выполнен оценочный расчет остаточной температуры, до которой разогревается вещество в результате прохождения по нему ударного фронта с амплитудой P_1 и последующей разгрузки до исходного давления $P = 0$ и температуры в зоне контакта, которые составили от 1486 до 9078 К для меди; от 402 до 6800 К для керамики; от 590 до 1500 К – для серы.

Третий этап методики расчета параметров соударения фрагмента кумулятивной струи с преградой заключается в оценке вклада теплового эффекта химической реакции взаимодействия (горения) материала кумулятивной струи с химически активным наполнителем, обладающим окислительными свойствами.

Следует обратить внимание на то, что давление на фронте ударных волн в кумулятивной струе и материалах среды на границе раздела достигает очень высоких значений (от нескольких гигапаскалей до сотен гигапаскалей) в зависимости от скорости удара и свойств материалов. Причем эти давления в материалах преград тем выше, чем меньше ударная сжимаемость материала, которая определяется главным образом скоростью звука в нем. В свою очередь скорость звука определяется модулем упругости среды, от этого параметра зависит температура разогрева сред в зоне контакта, что и отражено в результатах расчета.

На основе полученных данных правомерно считать, что чем выше температура разогрева в зоне контакта, тем интенсивнее расход материала струи. В свою очередь температура разогрева является функцией акустической жесткости.

Таким образом результаты расчетов по оценке параметров взаимодействия фрагмента кумулятивной струи с преградами в зоне контакта позволили вскрыть дополнительные факторы, влияющие на механизм проникания кумулятивной струи в многокомпонентные преграды. В частности, выявленные высокие температуры в зоне контакта, превышающие температуру кипения металла струи, свидетельствуют о факторе возможного испарения металла наряду с химическим взаимодействием его с окислительной средой преграды. Естественно, этот фактор, который до настоящего времени не учитывался должен быть использован при конструировании противокумулятивных преград с целью повышения расхода кумулятивной струи при ее проникании и, тем самым, уменьшения глубины ее проникания.

Литература

1. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. М. : Наука, 1975. 704 с.
2. Коновалов А.В. и др. Взаимодействие кумулятивной струи с некоторыми типами многослойных преград // Боеприпасы. 1982. Вып. 7.
3. Зельдович Я.Б., Райзер К.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М. : Наука, 1966.
4. Трофимов В.С. // Физика горения и взрыва. 1973. Т. 9, № 4. 45 с.

DOI: 10.17223/9785946215596/46

TECHNIQUE OF THE ESTIMATION PARAMETERS INTERACTION OF THE CUMULATIVE STREAM WITH MATERIALS OF THE MULTICOMPONENT BARRIER

D.A. Naumov[1], V.I. Meleshko[2], V.I. Blinov[1], V.G. Larin[1], V.O. Grek[1]

[1]Military academy of the Strategic missile force named by Peter the Great, Balashiha city
[2]Institute chemical physics of a name of N.N.Semenova of the Russian Academy of Sciences, Moscow

For perfecting of tools of an anticumulative guard the knowledge of parameters interaction of a cumulative stream with materials of a multicomponent barrier are very necessary.

The technique offer for this purpose included three stages. At the first stage calculation of pressure in a zone of contact of a fragment of a cumulative stream (Cu) and a material of a barrier are fulfill [1]. As materials of a barrier consider: copper, a steel, ceramics on the basis of oxide of aluminum Al_2O_3 ceramics on the basis of carbide of silicon SiC, a carbide of a pine forest B_4C, nitride of silicon Si_3N_4, nitride of a pine forest BN. Ceramic materials represented a great interest as a material of an anticumulative guard at the expense of them to very high hardness (close to diamond), high durability, a low denseness [2].

As reactive filler of porous ceramics investigate: sulfur S, nitrate of potassium KNO_3, nitrate of sodium $NaNO_3$.

Calculation results show that the locus of contact with the target fragment CS depending on the collision speed of 2000 to 8000 m/s implemented pressure from 47 to 362 GPa in the stream material (*Cu*); from 44 to 271 GPa in ceramic; from 12 to 108 GPa – in the oxidizing environment.

The second stage of a technique - calculation temperature in a zone of contact a fragment cumulative stream with barriers is base on Ya.B. Zeldovich theoretical positions [3].

The concrete thermodynamic method of an estimation temperature shock compression of the condense medium are offer V.S. Trofimov [4].

At first the residual temperature T^* to which the substance as a result of transiting on it the shock front with amplitude P_1 and the subsequent unloading to initial pressure $P = 0$ are warm up paid off.

Us the idea stat in [3], we will define temperature on a shock adiabatic curve T on temperature of an unloading T^*.

The algorithm and the program have been develop for calculations of temperature by this technique in language of Turbo – Pascal.

Us the program, estimating calculation of residual temperature T^* to which the substance as a result of transiting on it the shock front with amplitude P_1 and the subsequent unloading to initial pressure $P=0$ and temperatures in a zone of contact are warm up had been fulfill which amounted from 1486 to 9078 K for copper; from 402 to 6800 K for ceramic; from 590 to 1500 – sulfur.

Third stage of engineering design procedure parameters of impact fragment cumulative stream with a barrier. It consisted in estimation of the contribution thermal effect chemical response of interaction (combustion) material cumulative stream with reactive filler possesses oxidizing properties.

It are necessary to pay attention that pressure at the front shock waves in a cumulative stream and materials of a medium boundary of section reached very high values (from several giga pascal to hundreds giga pascal) depending on velocity of blow and properties of materials. And these pressure in materials of barriers themes was higher, than less shock compressibility material who are defin mainly by a velocity of sound in it. In turn the velocity of sound are defin by the module of an elasticity of a medium. The temperature warming up of media depended on this parametre in a zone of contact, as are reflect in outcomes calculation.

On the basis of the receiv data it are lawful to consider that the temperature warming up in a zone of contact, the more intensively the expense material of a stream are higher. In turn the temperature of warming up are function of acoustic rigidity.

Thus outcomes calculations according to parametres of interaction fragment cumulative stream with barriers in a zone of contact had allow to open the additional factors influence the mechanism of permeating cumulative stream in multicomponent barriers. In particular, the reveal high temperatures in a zone of contact, boiling metal stream exceed temperature, testified to the factor of possible evaporation metal along with chemical interaction it with oxidising medium of a barrier. Naturally, this factor who were not consider till now should be us when designing anticumulative barriers for the purpose of a raise expense cumulative stream at it permeating and, thereby, diminutions of depth was more its than permeating.

References

1. Konovalov A.V. and others. Interaction of a cumulative stream with some types of multilayer barriers. Ammunition. 1982. Part 7.
2. Baum F.A., Orlenko L.P., Stanyukovich K.P. and others. Physics of explosion. M. : Science, 1975. 704 p.
3. Zeldovich Ya.B., Rayzer K.P. Physic of shock waves and high-temperature hydrodynamic appearances. M. : Science, 1966.
4. Trofimov V.S. Physic of combustion and explosion. 1973. V. 9, № 4. 45 p.

СТЕНДОВАЯ СЕКЦИЯ

POSTER SESSION

DOI: 10.17223/9785946215596/47

КОНСТРУКЦИИ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ С НЕИЗВЛЕКАЕМЫМИ ФОРМООБРАЗУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.В. Литвинов, А.В. Курбатов, Г.Н. Нестеров, А.К. Воробьев
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Реактивные энергетические установки (ЭУ) с изделиями из высокоэнергетических материалов (ВЭМ) могут иметь гражданское применение, например:

– метеорологические ракеты для исследования атмосферы на больших высотах;

– противоградовые ракеты, предотвращающие выпадения града на сельскохозяйственные плантации;

– ракеты, обеспечивающие контролируемый сход снежных лавин в труднодоступной горной местности;

– ЭУ, используемые в космической технике.

Для ЭУ наряду с разработкой новых рецептур, повышение эффективности связано с увеличением коэффициента заполнения (КЗ) камер сгорания. Для современных ЭУ значение КЗ составляет 0,7…0,8. Повысить коэффициент заполнения камер сгорания до 0,90…0,95 можно за счет использования технологической оснастки с неизвлекаемыми формообразующими элементами (НФЭ). При сгорании НФЭ формируются требуемые геометрические параметры внутренних каналов изделий для обеспечения заданного режима работы ЭУ.

Производство ЭУ с использованием изделий из ВЭМ предъявляет специфические требования к технологическому процессу их изготовления. В существующей технологии изготовления изделий большие затраты времени связаны с подготовкой технологической оснастки, ее сборки с корпусом ЭУ и извлечением оснастки после заполнения корпуса ЭУ высокоэнергетическим материалом (так называемая «распрессовка» изделия). Кроме того, такая технология зачастую непригодна для новых ВЭМ.

Использование НФЭ взамен традиционной ИЗВЛЕКАЕМОЙ формообразующей оснастки позволит существенно уменьшить трудозатраты, сократить время изготовления изделий и повысить безопасность производства за счет упрощения операции распрессовки.

В работе приведены примеры конструкции модельных изделий с НФЭ, представляющими собой пластины из алюминия, покрытые быстро сгорающим составом.

Испытания, проведенные в АО «ФНПЦ «Алтай», подтвердили работоспособность модельных ЭУ с данными НФЭ. Проведено сравнение экспериментальных и расчетных характеристик модельных ЭУ.

Таким образом, показана принципиальная работоспособность изделий с НФЭ, применение которых позволит повысить эффективность ЭУ.

В дальнейшем требуется совершенствование методов расчета характеристик ЭУ с НФЭ.

DOI: 10.17223/9785946215596/47

PRODUCT DESIGNS FOR POWER PLANTS OF IMPROVED PERFORMANCE WITH NONREMOVABLE SHAPE ELEMENTS

A.V. Litvinov, A.V. Kurbatov, G.N. Nesterov, A.K. Vorobyov
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

Reactive power plants (PP) with products of high-energy materials (HEM) can have civilian applications, for example:

– meteorological rockets to study the atmosphere at high altitudes;

– antihail rockets to prevent hail on crops;

– rockets, providing controlled snow avalanching in remote mountain areas;

– PP used in space technology.

Along with the development of new formulations, the improved performance for PP is connected to the increase of the filling factor (FF) of the combustion chamber. The filling factor for modern power plants is 0.7…0.8. The usage of nonremovable forming elements (NRSE) can increase the filling factor of the combustion chambers up to 0.90…0.95. During NRSE burning the required geometric parameters of the product inner channels are formed to ensure the specified mode of PP operation.

The PP production using HEMs products requires special technology for their manufacture. Nowadays manufacturing technology takes a long time for preparation of technological equipment (shape element), its assembly with PP casing and removing it after filling the case with high-energy materials (so-called product "pressing off"). Besides, this technology is often unsuitable for the new HEM.

The usage of NRSE instead of traditional REMOVABLE one will significantly reduce labor costs, manufacturing period and improve production safety by simplifying the operation of pressing off.

Examples of design model of the products with NRSE, presenting aluminum coated plates with a rapidly combustible composition are given in the following study.

Tests conducted at JSC FR&PC "ALTAI", confirmed the efficiency of modeling PP with the given NRSE. The comparison of experimental and calculated characteristics of the modeling PP is performed.

Thus, the principled performance of the products with NRSE has been shown. The usage of such products allows improvement PP performance.

Further the upgraded development of calculation methods for PP characteristics is required.

DOI: 10.17223/9785946215596/48

ЗАКОНОМЕРНОСТИ БЕЗГАЗОВОГО ГОРЕНИЯ СИСТЕМЫ AL-TI-B

В.В. Промахов[1,2], И.А. Жуков [1,2], Ворожцов С.А.[2], М.Х. Зиатдинов[2], Я.А. Дубкова[2]
[1]Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск,
[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

В работе проведен анализ данных о кинетических особенностях горения «безгазовых» систем на основе Ti-B. Показано, что перспективным направлением в области разработки новых быстрогорящих составов является их синтез и изучение закономерностей горения. Проанализирован термодинамический потенциал разрабатываемых составов системы Al-Ti-B. Изучена структура и морфологическое строение исходных порошков. Проведена серия экспериментов по измерению линейной скорость горения образцов с различным содержанием алюминия. Выявлены принципиальные закономерности горения «безгазовых» систем Al-Ti-B. Помимо этого, проанализировано структурно-фазовое состояние продуктов реакции, которые, в свою очередь, могут являться эффективными лигатурами для легких сплавов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60028 мол_а_дк.

DOI: 10.17223/9785946215596/48

GAS-FREE COMBUSTION REGULARITIES OF AL-TI-B SYSTEM

V.V. Promakhov[1, 2], I.A. Zhukov[1, 2], S.A. Vorozhtsov[2], M.Kh. Ziatdinov[2], Ya.A. Dubkova[2]
[1]Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk
[2]National Research Tomsk State University, Tomsk

The paper analyzes kinetic aspects of the combustion of gas-free Ti-B-based systems. A promising way to develop new fast-burning compositions is their synthesis and research into their combustion regularities. In this paper, we analyze the thermodynamic potential of the Al-Ti-B system compositions under development and explore the structure and morphology of initial powders. A set of experiments aimed at measuring the speed of flame propagation in samples with different aluminum content helped us detect principal combustion regularities of gas-free Al-Ti-B systems. Furthermore, we analyze the structural and phase state of resulting products, which, in turn, can serve as effective dopants to light metal alloys.

This study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research as part of scientific project No. 16-38-60028 mol_a_dk.

DOI: 10.17223/9785946215596/49

ГОРЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАКЕТНЫХ ТОПЛИВ В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ПОТОКЕ ГАЗА

В.А. Архипов, И.К. Жарова, Е.А. Козлов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

В ракетных двигательных установках горение твердотопливного заряда происходит в условиях интенсивного обдува потоком продуктов сгорания (твердотопливный ракетный двигатель), газообразного окислителя (гибридный ракетный двигатель) или воздуха (ракетно-прямоточный и воздушно-реактивный двигатели). Расчет основных внутрибаллистических характеристик двигательных установок базируется на закономерностях горения твердого топлива в высокоскоростном газовом потоке. Механизмы горения твердых ракетных топлив, содержащих горючее и окислитель, и горения твердых горючих материалов, содержащих только горючие компоненты, в потоке газа основаны на анализе комплекса взаимовлияющих физико-химических процессов. Эти процессы (изменение фазового состояния, перенос массы и энергии продуктов сгорания, турбулентность и др.) являются сложными и зависят от многих факторов. При детальном изучении механизмов горения необходимо опираться на объективную информацию, полученную экспериментально для конкретной топливной композиции и режима течения.

В настоящей работе представлен краткий анализ подходов к моделированию и получению экспериментальных данных по горению твердых ракетных топлив в условиях обдува газообразными продуктами их горения и по горению твердых горючих материалов в высокоскоростном потоке газа, содержащем окислитель.

Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/49

COMBUSTION OF SOLID ROCKET PROPELLANTS IN A HIGH SPEED GAS FLOW

V.A. Arkhipov, I.K. Zharova, E.A. Kozlov

National Research Tomsk State University, Tomsk

Combustion of solid propellant takes place under conditions of intense blowout by stream of combustion products (solid rocket motors), or of oxidant gas (hybrid rocket motors) or air (rocket-ramjets and air-jet motors) in rocket engines. Calculation of the main internal ballistic characteristics of rocket engines is based on the laws of solid propellant burning rate in a high speed gas flow. Mechanisms of combustion of solid propellants containing fuel and oxidizer, and the combustion of solid

propellants containing only the combustible components in the gas flow are based on the analysis of complex mutually influencing physical and chemical processes. These processes (changes in phase state, the transfer of mass and energy of the combustion products, turbulence, et. al.) are complex and depend on many factors. It's necessary to base on objective information obtained experimentally for a particular propellant composition and flow regime, for a detailed study of the combustion mechanisms.

A short analysis of approaches to modeling and to obtainment of experimental data on combustion of solid propellants under conditions of blowout by gas stream of combustion products and on combustion of solid fuels in a high speed gas flow containing an oxidizing agent are presented in this paper.

This work was supported by Ministry of Education and Science under the Federal Program «Research and development on priority directions of scientific-technological complex of Russia for 2014-2020», the agreement № 14.578.21.0034, unique identifier PNI RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/50

ВЛИЯНИЕ СВОБОДНОГО ОБЪЕМА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ РАБОТЫ РДТТ АКТИВНО-РЕАКТИВНОГО СНАРЯДА

В.А. Архипов, С.С. Бондарчук, А.И. Коноваленко, К.Г. Перфильева

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

При выстреле активно-реактивного снаряда (АРС) из артиллерийского орудия он подвергается воздействию высоких перепадов давления. Для исключения действия пороховых газов на заряд твердого ракетного топлива (ТРТ) активно-реактивного снаряда предлагается схема автономного воспламенителя, изолирующая заряд ТРТ от пороховых газов метательного заряда. Для этого в сопловом блоке РДТТ устанавливается заглушка, в которой размещается пиротехнический воспламенитель инициируемый капсюлем. Срабатывание воспламенителя происходит после вылета снаряда из ствола орудия. При сбрасывании заглушки после зажигания заряда ТРТ происходит резкое уменьшение давления в камере сгорания, которое может привести к погасанию заряда. Одним из параметров, влияющих на условия погасания заряда ТРТ, является свободный объем камеры сгорания. В работе, на основе анализа уравнения сохранения энергии в камере сгорания, определяется минимальное значение ее свободного объема, обеспечивающее устойчивое горение заряда в зависимости от вида ТРТ и параметров двигателя. Приводится пример расчета зависимости минимального объема камеры сгорания от параметров РДТТ и отношения давлений при сбросе заглушки для смесевого и баллиститного топлив. Проведен анализ эффективности влияния РДТТ на дальность полета АРС.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы» соглашение №14.578.81.0034 (уникальный идентификатор RFMEFI57814X0034).

DOI: 10.17223/9785946215596/50

INFLUENCE OF FREE VOLUME FOR COMBUSTION CHAMBER STABILITY OF WORK SOLID PROPELLANT ROCKET-ASSISTED PROJECTILE

V.A. Arkhipov, S.S. Bondarchuk, A.I. Konovalenko, K.G. Perfilieva
National Research Tomsk State University, Tomsk

When firing rocket-assisted projectile (RAP) from a gun it is exposed to high pressure differentials. To exclude the action of the powder gases on the solid rocket propellant (SRP) grain of the active-reactive projectile the scheme of autonomous igniter are proposed that isolates the charge SRP from powder gases of gun charge. To do this, in the nozzle block solid propellant motors is installed the cap in which is placed a pyrotechnic igniter initiated by a percussion cap. Actuation of the igniter takes place after the departure of the projectile from the gun barrel. While the cap removed after ignition of the SRP grain a sharp decrease in pressure is in the combustion chamber, which can lead to the cessation of burning of the propellant grain. One of the parameters influencing the damping of the SRP grain, is the free volume of the combustion chamber. In this work, based on the analysis of the equation of conservation of energy in the combustion chamber, is determined by the minimum value of its free volume, which provides stable combustion of the grain depends on the type of SRP and engine parameters. The example of calculation according to the minimum volume of the combustion chamber from the parameters of the SRP and relationship pressures when the cap is removed for mixture and ballistite propellants. The analysis of the effectiveness of the impact of the SRP on the range of RAP was conducted.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation under the Federal Target Program "Research and development on priority of scientific-technological complex of Russia for 2014-2020", the agreement 14.578.21.0034, unique identifier PNI RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/51

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАНОПОРОШКОВ АЛЮМИНИЯ В СОСТАВЕ ВЭМ

В.А. Архипов, А.Б. Ворожцов А.С. Жуков
Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Современные составы высокоэнергетических материалов (ВЭМ), использующихся в качестве твердых ракетных топлив, базируются, в основном, на трех компонентах: окислитель – перхлорат аммония, полимерное горючее-связующее и порошок алюминия микронных размеров. Данные композиции ВЭМ практически исчерпали свои потенциальные возможности в плане повышения энергетических характеристик. В последнее десятилетие в ряде организаций как в России, так и за рубежом, проводятся широкомасштабные исследования характеристик ВЭМ, в составе которых используются нанопорошки алюминия. В докладе представлен обзор

результатов исследований характеристик ВЭМ с нанопорошками алюминия, проведенных в научно-исследовательском институте прикладной математики и механики томского государственного университета:

– исследование термического разложения;

– исследование характеристик зажигания кондуктивным и лучистым тепловым потоком;

– исследование стационарной скорости горения в широком диапазоне давлений, включая субатмосферные;

– исследование нестационарной скорости горения при сбросе давления;

– исследование эрозионного горения;

исследование акустической проводимости поверхности горения.

Проведен анализ полученных результатов, а также результатов других авторов, который позволил определить перспективные направления применения ВЭМ с нанопорошками алюминия. Сформулированы проблемные вопросы, требующие решения на основе дополнительных специально спланированных исследований.

Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/51

PROBLEMS AND FUTURE DIRECTIONS OF ALUMINUM NANOPOWDERS USE AS HEMS COMPONENTS

V.A. Arkhipov, A.B.Vorozhtsov, A.S. Zhukov
National Research Tomsk State University, Tomsk

The modern compositions of high-energy materials (HEMs) which are used as the solid rocket propellants are based, generally on three components: an oxidizer – ammonium perchlorate, polymeric combustible-binding and aluminum powder of the micron sizes. These compositions of HEMs practically exhausted the potential opportunities in the increase of power characteristics.

In the last decade in a number of the organizations as in Russia, and abroad, large-scale researches of characteristics of HEMs with aluminum nanopowders are conducted.

The review of results of researches of characteristics of HEMs with aluminum nanopowders which are carried out Tomsk state university research institute of applied mathematick and mechanics dishwasher are presented in the report:

– research of thermal decomposition;

– research of characteristics of ignition by conductive and radiation heat flux;

– research of stationary burning rate in wide pressure range, including subatmospheric pressures;

– research of nonstationary burning rate at a fast depressurization;

– research of erosive burning;

– research of an acoustic conductance of combustion surface.

The analysis of the received results, and also results of other authors which allowed to define the perspective directions of application of HEMs with aluminum nanopowders is carried out. The problematic issues requiring the solution on the basis of the special researches are formulated.

The work was financially supported from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.578.21.0034 (RFMEFI57814X0034).

DOI: 10.17223/9785946215596/52

РАЗРАБОТКА ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ВЭМ С ВЫСОКОЙ СКОРОСТЬЮ ГОРЕНИЯ

И.А. Жуков, В.В. Промахов, М.Х. Зиатдинов, А.С. Жуков, Я.А. Дубкова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Создание перспективных двигательных установок различного назначения требует повышения уровня энергетических и эксплуатационных характеристик применяемых твердотопливных зарядов. Одним из способов регулирования скорости горения твердотопливного заряда является его армирование металлическими проволочками с высоким коэффициентом теплопроводности. Перспективным направлением повышения энергетических характеристик таких зарядов является использование вместо проволочек топливных элементов со скоростью горения, превышающей на порядок скорость горения основного твердотопливного заряда.

В настоящей работе проведено исследование по подбору быстрогорящего состава, пригодного для изготовления топливных элементов с высокой (более 70 мм/с) скоростью горения. В качестве исходных материалов были выбраны и изучены порошки бора и титана различной дисперсности. Проведен подбор горючего – связующего (ГСВ), обеспечивающего требуемую прочность порошковой системы после формования.

С учетом выбора ГСВ из порошковых композиций при разном давлении прессования были получены экспериментальные образцы топливных элементов. Определены зависимости скорости горения от плотности получаемых образцов и дисперсности используемых в исходной шихте порошков титана. Показано, что скорость горения полученных топливных элементов незначительно зависит от дисперсности исходных порошков титана и для системы 69% Ti – 31% B составляет 70–80 мм/с. При добавке к системе 69 % Ti-31 % B 2,5 мас. % порошка алюминия со средним размером частиц ~100 мкм скорость горения системы, получаемой после формования с 1 мас. % ГСВ, составляет ~120 мм/с при внешнем давлении до 6 МПа, в то время как скорость горения основного твердотопливного заряда составляет ~ 10 мм/с.

Работа проведена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», соглашение № 14.578.21.0034, уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0034.

DOI: 10.17223/9785946215596/52

DEVELOPMENT OF POWDER HEM COMPOSITIONS WITH HIGH BURNING RATE

I. Zhukov, V.Promakhov, M. Ziatdinov, A. Zhukov, Y. Dubkova
National Research Tomsk State University, Tomsk

Creation of advanced propulsion units for various purposes requires an increased level of energy and performance characteristics of solid propellant grains used. One of the methods of adjustment of burning rate of a solid-propellant grain is its reinforcement with metal wires having a high heat transfer coefficient. The advanced method of improvement of energy characteristics of such grains is to replace such metal wires with fuel elements having the burning rate exceeding the burning rate of the main solid-propellant grain by an order of magnitude.

This paper describes a research dedicated to selection of a fast-burning composition suitable for production of fuel elements with a high (more than 70 mm/s) burning rate. Boron and titanium powders with various dispersity were selected as source materials and studied. A fuel-binder providing required strength characteristics of a powder system after molding was selected.

Experimental samples of fuel elements were produced from powder compositions at various molding pressures taking into account selected fuel-binder. Dependence of burning rate on the density of samples and dispersity of titanium powders used in initial mix were revealed. It was indicated that burning rate of produced fuel elements does not significantly depend on dispersity of initial titanium powders and for the "69%Ti – 31%B" system comprises 70–80 mm/s. The burning rate of the system obtained after molding of "69%Ti – 31%B" system with the admixture of 2,5 wt% of Al powder with an average particle size of ~ 100 μm and 1 mass% of fuel-binder comprises ~120 mm/s at external pressure of up to 6 MPa. The burning rate of the main solid-propellant grain comprises ~10 mm/s.

The work was financially supported from the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Target Program. Agreement No. 14.578.21.0034 (RFMEFI57814X0034).

DOI: 10.17223/9785946215596/53

АДАПТИВНОЕ СГЛАЖИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СТЕНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭУ

А.Г. Митин, В.П. Филиппов, Л.Д. Цой
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Предложен алгоритм сглаживания результатов измерений параметров ЭУ для снижения уровня случайных шумов при обработке сигналов. Приведены результаты тестирования алгоритма на модельных и реальных данных. Показаны преимущества предложенного алгоритма.

Одной из важных задач, которая должна быть решена при построении систем измерения параметров при огневых стендовых испытаниях, является задача устранения шумов. При наземных огневых стендовых испытаниях ЭУ эта проблема стоит особенно остро. Объект испытания, ввиду его потенциальной опасности, находится на значительном удалении от средств регистрации, имеет длинные измерительные линии, являющиеся неплохой антенной для приема помех, дающих существенную электромагнитную добавку к пульсациям и вибрациям, порождаемым физикой самого процесса испытания ЭУ. Измеренный сигнал, представляющий собой аддитивную смесь полезного сигнала и помехи, требует предварительной обработки с целью максимально возможного подавления случайной составляющей сигнала, что обеспечивается применением различных алгоритмов сглаживания.

Изложенный в докладе алгоритм осуществляет обработку сигнала с использованием взвешенных скользящих средних с адаптивным окном фильтрации и оценкой уровня шумов на каждом шаге сглаживания.

DOI: 10.17223/9785946215596/53

ADAPTIVE SMOOTHING OF THE RESULTS OF SPRM TEST-BENCH CHARACTERISTICS

A.G. Mitin, V.P. Filippov, L.D. Tsoy
JSC Federal Research & Production Center "ALTAI", Biysk

The smoothing algorithm of the results of SPRM test-bench characteristics is proposed in order to quietize during signal processing. Testing results of the algorithm with simulating and actual data are given. The advantages of the suggested algorithm are presented.

One of the important problems to be solved when creating parameters measuring system is silencing. This problem is especially nagging in case of ground firing test-bench. The object to be tested, due to its potential hazard, is moved away from recording system at a quite long distance. Thus, it has long measuring lines, being a good antenna for noise and giving essential electromagnetic addition to pulsations and vibrations, caused of the physics of SPRM testing process itself. The measured signal, being an additive mixture of the desired signal and noise, need to be processed beforehand in order to suppress signal random component that is provided by the usage of different smoothing algorithms.

The described in the following report algorithm processes signal by using weighted moving averages with adaptive filtration window and noise rating at each smoothing stage.

DOI: 10.17223/9785946215596/54

ОСОБЕННОСТИ ЗАЖИГАНИЯ И ГОРЕНИЯ ВЭМ С БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОРОШКАМИ

А.Г. Коротких[1, 2], В.А. Архипов[2], О.Г. Глотов[3], В.Е. Зарко[2, 3]

[1]Томский политехнический университет, г. Томск

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

[3]Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск

В работе представлены результаты экспериментального исследования процессов зажигания и горения высокоэнергетических материалов (ВЭМ) на основе ПХА, бутадиенового каучука и порошка алюминия, содержащих добавки металлов, а также методика для определения параметров зажигания и горения: времена задержки газификации и зажигания, реактивная сила оттока продуктов газификации, скорость горения образцов, а также количественный и фазовый состав, дисперсность конденсированных продуктов горения (КПС).

Исследование влияния добавок металла в ВЭМ проводили с использованием установки лучистого нагрева на основе CO_2-лазера и проточной бомбы сгорания с отбором конденсированных частиц.

Получено, что частичная замена нанопорошка Alex на железо в модельном составе ВЭМ уменьшает времена задержки зажигания в 1,3–1,9 раза в среде воздуха в диапазоне плотности потока излучения 55–220 Вт/см^2 и увеличивает реактивную силу оттока продуктов газификации с поверхности горения образца на 27% при стационарном горении ВЭМ в воздухе за счет возможного каталитического эффекта, уменьшающего температуру начала интенсивного разложения ПХА в реакционном слое топлива ~20°С, а также взаимодействия термитной смеси частиц алюминия и железа с дополнительным выделением тепла. При частичной замене Alex на аморфный бор в модельном составе времена задержки зажигания уменьшаются в 1,2–1,4 раза, реактивная сила оттока продуктов газификации от поверхности горения образца увеличивается на 9%, при этом температура начала интенсивного разложения ВЭМ не изменяется и составляет ~310°С.

При горении ВЭМ частичная замена Alex на железо в составе топлива приводит к увеличению скорости горения в 1.3–1.4 раза в диапазоне давления азота 2.0–7.5 МПа за счет возможного дополнительного экзотермического эффекта и увеличения температуры газофазной зоны химических реакций. При частичной замене Alex на бор в составе ВЭМ скорость горения образца не изменяется по отношению к базовому составу в указанном диапазоне давлений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-03-00630а.

DOI: 10.17223/9785946215596/54

FEATURES OF IGNITION AND COMBUSTION OF HEMS WITH BIMETAL POWDERS

Alexander Korotkikh[1, 2], Vladimir Arkhipov[2], Oleg Glotov[3], Vladimir Zarko[2, 3]

[1]*Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

[2]*National Research Tomsk State University, Tomsk*

[3]*Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk*

This paper presents the experimental data of ignition and combustion processes of high-energy materials (HEMs) based on AP, butadiene rubber and aluminum powder, containing metal additives, and the methods for determining the set of ignition and combustion parameters: the gasification and ignition times, the recoil force of gasification products outflow, the burning rate of samples, and the quantitative and phase compositions, the size distribution of particles of condensed combustion products (CCPs).

The study of metal additives effect in HEMs was carried out using a set up for the radiant heating on the basis of CO_2-laser and a blow-through sampling bomb.

It was found that the partial replacement Alex by iron in HEMs decreases the ignition time by 1.3–1.9 times under initiation by CO_2-laser in air at the range of heat flux density 55–220 W/cm^2 and increases of the recoil force of gasification products outflow from burning surface by 27% at stationary combustion of propellants due to possible of the catalytic effect, which reduces the beginning temperature of AP high-temperature decomposition in the reaction layer of propellant by ~20°C, and interaction of thermite mixture of aluminum and iron particles in the reaction layer of propellants. Upon partial replacement of Alex by boron in HEMs the ignition times are decreased by 1.2–1.4 times, the recoil force of gasification products outflow from burning surface is increased by 9% while the beginning temperature of high-temperature decomposition of HEMs does not change and equals to ~310°C.

At the burning partial replacement Alex by iron in HEMs leads to 1.3–1.4 fold increase in the burning rate in the pressure range of 2.2–7.5 MPa due to possible additional exothermic effect of the increase of temperature of chemical reaction gas phase zone. Partial replacement Alex by boron the burning rate is practically unchanged with respect to the basic propellant with Alex.

The reported study was funded by RFBR according to the research project No. 16-03-00630 a «Study of effect of the bimetal powders on the characteristics of ignition, combustion and agglomeration of high-energy materials».

DOI: 10.17223/9785946215596/55

ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ МНОГОФРАКЦИОННЫХ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.И. Анисимов, Р.В. Тучков, А.В. Щемелинин, Р.А. Загородников
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Прогнозирование и моделирование эксплуатационной работоспособности многослойных полимерных конструкций при виброударных воздействиях, является актуальной задачей многих отраслей промышленности (машиностроение, космонавтика, ракетная техника, авиа- и автостроение и др.). Ключевым элементом решения подобных задач является исследование закономерностей деформирования и разрушения материалов, из которых изготовлены рассматриваемые конструкции в условиях стационарных и нестационарных вибрационных нагрузок. Для изделий ракетно-космического назначения особый интерес представляют, рассматриваемые в настоящем сообщении вопросы прогнозирования структурной целостности высоконаполненных (φ = 75–85%) многофракционных полимерных композитов, эксплуатирующихся в течении длительных (20–25 лет) гарантийных сроков.

Экспериментально установлено, что при транспортировке скреплённых многослойных изделий космического назначения, например, высоконаполненный композит находится в условиях многослойного широкополосного спектра виброускорений (рис. 1).

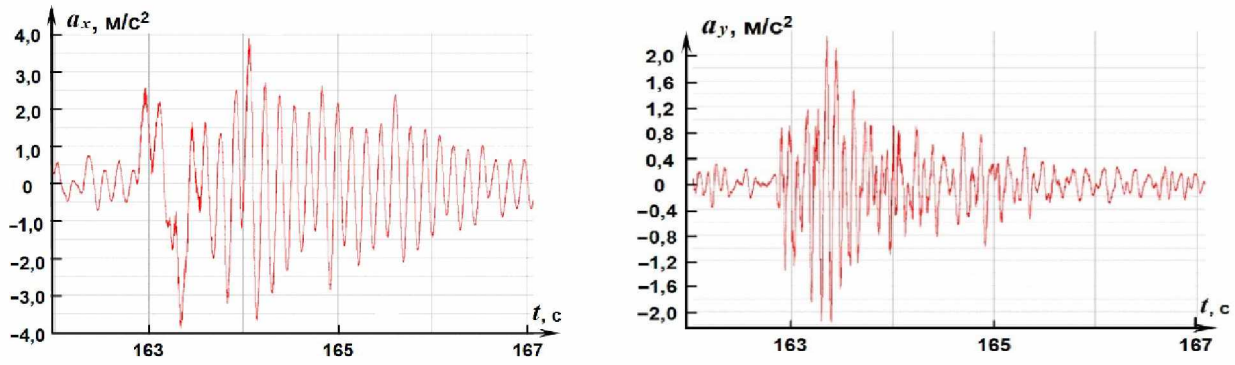


Рис. 1. Типичный фрагмент спектра виброускорений при транспортировке (ж/д, авто) многослойных изделий

Программа виброиспытаний исследуемого композита предусматривала реализацию регулярных (виброползучесть, частота f=0,1÷1000 Гц, $К_ц = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0 \div 0{,}7$) и широкополосных (f=10÷1600 Гц) нагружений в режиме ускоренных форсированных испытаний, моделирующих условия длительной (t=20 лет) транспортировки натурных изделий.

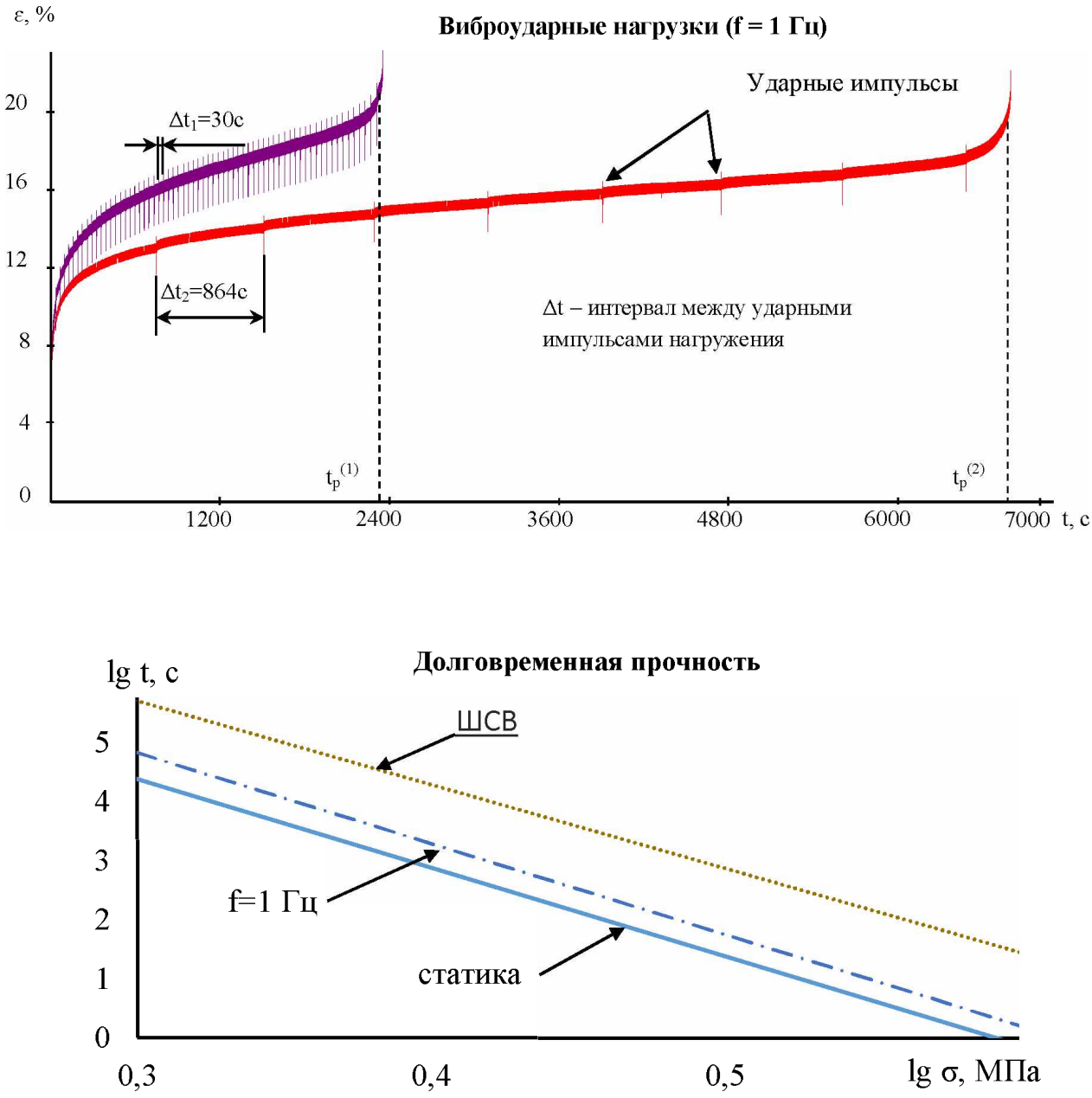


Рис. 2. Особенности механического поведения высоконаполненной полимерной композиции при вибронагружении (режим виброползучести)

Результаты испытаний показали (рисунок 2), что к наиболее существенным закономерностям деформирования и разрушения при вибронагружении исследованного полимерного материала следует отнести:

– снижение амплитуды реализующихся деформаций (ε_a) и скорости ползучести при увеличении частоты (ω = const) в режиме виброползучести ($\sigma(t) = \sigma_0+\sigma_a \cdot \sin(\omega t)$);

– подобие кривых длительной прочности (режим ползучести $\sigma(t)$=const и виброползучести) при различных частотах;

– снижение времени до разрушения в режиме виброползучести при наличии ударных импульсных нагрузок;

– широкополосные спектральные режимы вибронагружений приводят к увеличению параметров (времени до разрушения) длительной прочности композита (по сравнению со статическим нагружением $\sigma_{ст} = (\sigma_0+\sigma_а)_{вибр}$).

Наиболее существенное влияние предварительные транспортные вибронагрузки оказывают на снижение (в 1,3… 1,4 раза) жёсткостных характеристик (эффект Маллинза). Изменение предельных характеристик после воздействия нагрузок, соответствующих условиям транспортировки не превышает ~10%.

При назначении режимов форсированных испытаний, моделирующих условия транспортировки, показана целесообразность использования нелинейного критерия длительной прочности (1), в котором уровень накопленной повреждаемости параметр «П» определяется из исследований в режиме виброползучести [1]

$$П(t) = \frac{n+1}{\beta^{n+1}} \cdot \int_0^{t_ф} \left[(t \cdot \tau)^n \cdot \sigma\left(\tau, T, К_ц\right)^{\alpha(1+n)}\right] d\tau \qquad (1)$$

Результаты проведённых исследований позволили сформулировать основные положения методологии назначения форсированного (по времени) режима моделирования условий транспортировки натурных изделий, базирующиеся на использовании теорий длительной прочности.

Выводы

При спектральном нестационарном силовом нагружении твёрдотопливных материалов зарегистрирован целый ряд особенностей деформирования и разрушения, существенно влияющих на параметры вибропрочности скреплённых с корпусом топливных элементов ДУ. Полученные результаты использовались для разработки форсированных методов моделирования влияния вибронагрузок на ресурс механической работоспособности системы ТЭ – корпус в процессе длительной транспортировки и эксплуатации на подвижных носителях.

Литература

1. Москвитин В.В. Сопротивление вязкоупругих материалов. М. : Наука, 1972.

DOI: 10.17223/9785946215596/55

INFLUENCE OF VIBRATION STRAINS ON DEFORMATION AND FAILURE OF MULTI-FRACTIONAL HIGHLY FILLED COMPOSITE MATERIALS

I.I. Anisimov, R.V. Tuchkov, A.V. Shchemelinin, R.A. Zagorodnikov
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

Prediction and modeling of multilayer polymer constructions under vibroimpacts is an important task in many branches of industry (mechanical engineering, cosmonautics, rocketry, aviation and motor industry, etc.). A key element of such problems solving is a study on regularities of deformation and materials failure, from which the studied constructions are made under stationary and nonstation-

ary vibration strains. The considered in this paper problems of prediction of structural integrity of highly filled (φ = 75-85%) multi-fractional polymer composites, used for long-term (20-25 years) warranty periods, are of interest for space-rocket articles.

It was experimentally determined that during transportation of the bonded multilayer articles for space applications, for example, a highly filled composite is under condition of multilayer broadband spectrum of vibration accelerations (Figure 1).

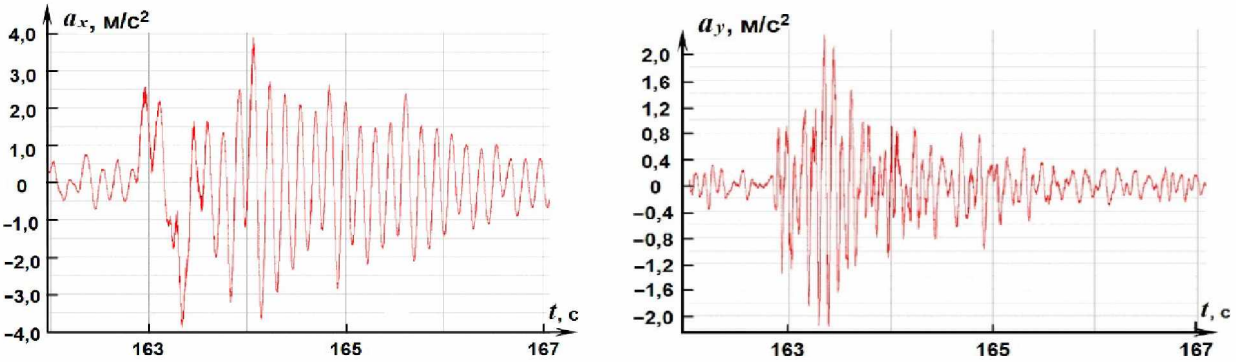


Fig. 1. Typical fragment of spectrum of vibration acceleration during transportation (train, car) of multilayer articles

The vibro-testing program of the studied composite included the implementation of regular (vibrocreep, frequency f=0.1÷1000 Hz, $К_ц = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} = 0 \div 0.7$) and broadband (f=10÷1600 Hz) loadings under operating conditions of extreme tests, simulating long-term (t=20 years) transportation of full-sized articles.

The test results showed (Figure 2) that the most significant regularities of deformation and failure when vibration loadings of the studied polymer material include:

– amplitude decay of the realized deformations (ε_a), as well as creep rate in case of frequency increasing (ω=const) at vibrocreep mode ($\sigma(t)=\sigma_0+\sigma_a \cdot \sin(\omega t)$);

– similarity of long-term strength curves (creep σ(t)=const and vibrocreep mode) at various frequencies;

– reduction of time up to failure in the mode of vibrocreep with impact mometa;

– broadband spectral modes of vibration loadings lead to the parameters increasing (time up to failure) of long-term strength of the composite (in comparison with static loading $\sigma_{st}=(\sigma_0+\sigma_a)_{vibr.}$).

The most significant influence of pre-transport vibration loadings have on the reduction (1.3...1.4 times) of stiffness characteristics (Mullins effect). The change of limiting characteristics after loadings corresponding to the transportation conditions does not exceed ~10%.

The expediency of using the nonlinear long-term strength criterion (1) is shown when choosing modes of extreme tests, simulating the transportation conditions, where the level of accumulated damage parameter "P" is determined from studies in the mode of vibrocreep [1]

$$П(t) = \frac{n+1}{\beta^{n+1}} \cdot \int_0^{t_ф} \left[(t \cdot \tau)^n \cdot \sigma\left(\tau, T, К_ц\right)^{\alpha(1+n)} \right] d\tau \qquad (1)$$

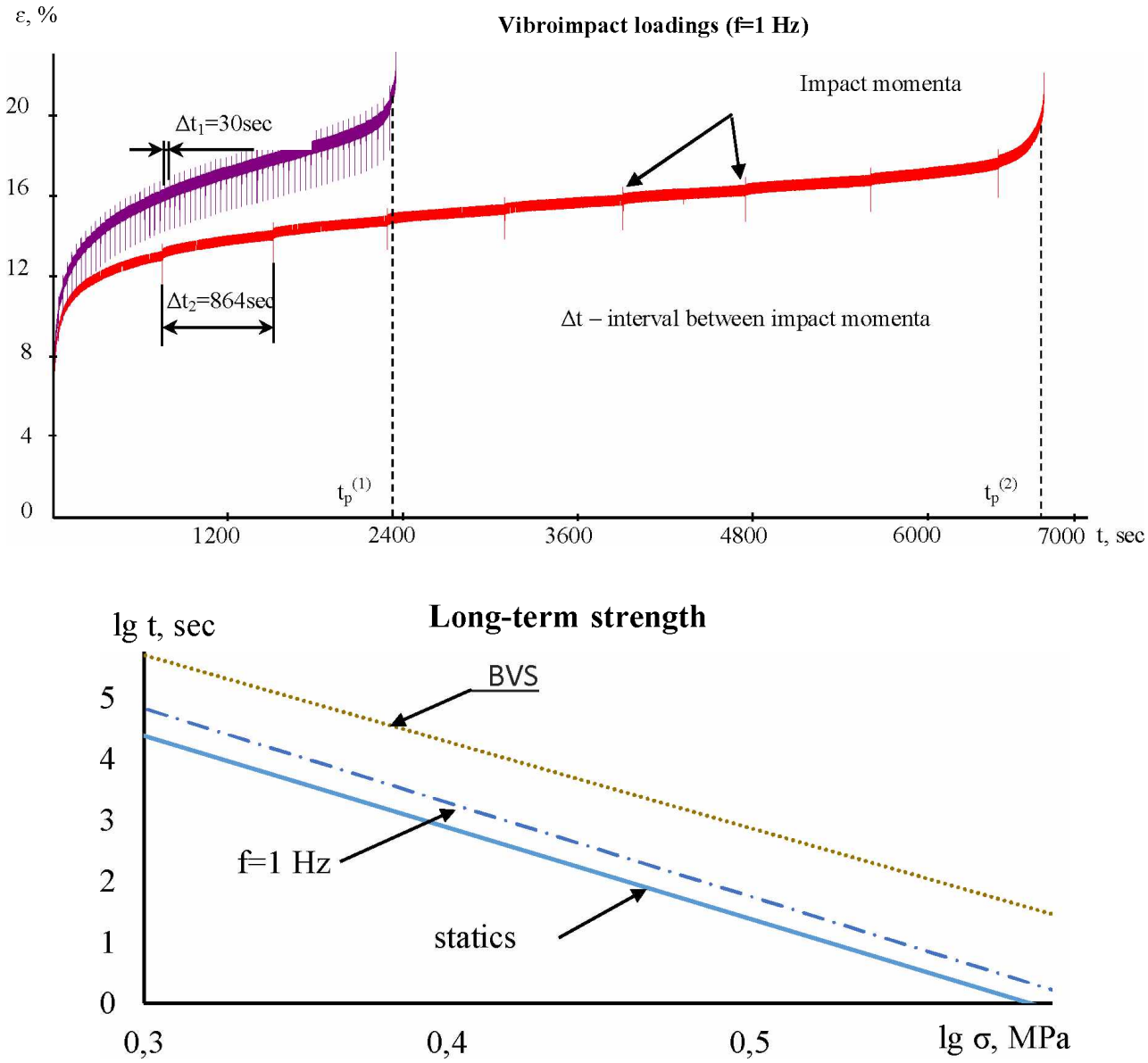


Fig. 2. Mechanical behaviour peculiarities of highly filled polymer compositions when vibration loadings (vibrocreep mode)

The study results allowed formulation the basic methodology provisions for the extreme (in time) simulation mode of the transportation conditions of full-sized articles based on the usage of long-term strength theory.

Conclusions

A number of deformation and failure features, significantly affect the vibration strength parameters of the bonded with case propellant elements of power plant, is registered. The obtained results were used to develop the extreme simulation methods of vibration loading impacts on the mechanical performance of PE system – case during long-term transportation and operation on the moving carriers.

References

1. Moskvitin V.V. Resistance of viscoelastic materials. M. : Nauka, 1972.

DOI: 10.17223/9785946215596/56

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРЕНИЯ ПОРОХА Н С ДОБАВЛЕНИЕМ ПОРОШКА АЛЮМИНИЯ В ПОЛЕ МАССОВЫХ СИЛ

В.А. Порязов, А.Ю. Крайнов

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Представлена математическая модель горения пороха Н с добавлением частиц алюминия в поле массовых сил, учитывающая тепловой эффект разложения конденсированной фазы, экзотермическую химическую реакцию в газовой фазе, конвекцию и диффузию реагента, нагрев и горение частиц алюминия в потоке газа, движение продуктов сгорания, отставание скорости движения частиц от газа, влияние поля массовых сил, направленных по нормали от поверхности горения, на характер движения частиц алюминия. Представленная модель строилась на основе модели, представленной в работе [1]. Скорость горения определялась по модели Беляева-Зельдовича [2].

Проведено исследования влияние ускорения в диапазоне от 0 до 700g, направленного по нормали от поверхности горения, на величину скорости горения пороха Н с добавлением частиц алюминия радиусом от 1 до 100 *мкм* в диапазоне давлений 20 – 100 *атм*. В рамках проведенного исследования показано, что чем больше размер частиц, вылетающих с поверхности горения, тем выше влияние ускорения на величину скорости горения.

Полученные результаты качественно согласуются с зависимостями, описанными в работах [3,4].

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-03-02578 А.

Литература

1. Poryazov V.A., Krainov A.Yu., Krainov D.A. Simulating the combustion of n powder with added finely divided aluminum // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015. Vol. 88, № 1. P. 94–103.
2. Зельдович Я.Б. К теории горения порохов и взрывчатых веществ // Я.Б. Зельдович. Избранные труды. Химическая физика и гидродинамика. М. : Наука. 1984. 374 с.
3. Максимов Э.И, Максимов Ю.М., Мержанов А.Г. Исследование горения конденсированных веществ в поле массовых сил // Физика горения и взрыва. 1967. № 3. Р. 323–327.
4. Марголин Д.А., Крупкин В.Г. Влияние конденсированных добавок на скорость горения в поле ускорения // Физика горения и взрыва. 1974. № 5. Р. 702–709.

DOI: 10.17223/9785946215596/56

MATHEMATICAL MODELING OF COMBUSTION OF N POWDER WITH MICRON-SIZED ALUMINUM IN THE FORCE FIELD

V.A. Poryazov, A.Yu. Krainov
National Research Tomsk State University, Tomsk

The paper describes a mathematical model for combustion of N powder with addition of aluminum particles in the force field, taking into account a thermal effect of decomposition of the condensed phase, an exothermic chemical reaction in the gas phase, convection and diffusion of the reagent, heating and combustion of aluminum particles in the gas flow, a flow of combustion products, a velocity lag of the particles compared to the gas, an effect of the field of mass forces directed along the normal to the burning surface on the motion of aluminum particles. The model was built based on the one presented in [1]. The burning rate was determined following the Belyaev-Zel'dovich model [2].

The study conducted was focused on examining an effect of acceleration (in the range of 0 to 700g) directed along the normal to the burning surface on the burning rate of N powder with addition of aluminum particles with a radius from 1 to 100 μm in the pressure range of 20 to 100 atm. It was shown that the larger was the size of the particles emitted from the burning surface, the greater was the effect of acceleration on the burning rate.

The results obtained are in qualitative agreement with the relationships described in [3, 4].

The study was financially supported by the RFBR, research project № 15-03-02578 A.

References

1. Poryazov V.A., Krainov A.Yu., Krainov D.A. Simulating the combustion of n powder with added finely divided aluminum // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015. Vol. 88, No. 1. P. 94–103.
2. Zel'dovich Ya. B. K teorii goreniya porokhov i vzryvchatykh veshchestv [On the theory of combustion of powders and explosives]. In Ya. B. Zel'dovich, Izbrannye trudy. Khimicheskaya fizika i gidrodinamika [Selected works. Chemical physics and hydrodynamics]. M. : Nauka, 1984. 374 p.
3. Maksimov E. I., Maksimov Ju. M., Merzhanov A. G. Combustion of condensed substances in a mass force field // Combustion, Explosion and Shock Waves. 1967. Vol. 3, No. 3. P. 323–27.
4. Margolin A. D., Krupkin V. G. Influence of condensed admixtures on the powder combustion rate in an acceleration field. Combustion, Explosion and Shock Waves. 1975. Vol. 11, No. 5. P. 702–709.

DOI: 10.17223/9785946215596/57

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ РКТ

Р.А. Загородников, И.И. Анисимов
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

Создание конструкционных материалов с заданными эксплуатационными свойствами - это ключевая проблема большинства технических отраслей промышленности. Ракетная техника и космонавтика (РКТ) не являются исключением. Развитие этих материалоемких отраслей связано с постоянным поиском и разработкой новых высокопрочных, эрозионно и теплостойких конструкционных материалов для корпусов, энергоемких материалов топливных элементов двигательных установок (ДУ).

В настоящее время применительно к решению задач создания и оптимизации механических характеристик изделий ракетно-космического назначения активизировались разработки численных методов моделирования процессов деформирования и разрушения в структуре высокоэнергетических композитных материалов [1] (ВКМ). Основное внимание ориентируется на сокращение объемов, длительности и стоимостных показателей многофакторных лабораторных экспериментов, в которых варьируются параметры структуры наполнителя (форма, размеры, концентрация, фракционность и др.) с целью улучшения механических характеристик высоконаполненного композита. Реальная структура, состоящая из полимерной матрицы и мелкодисперсного наполнителя (рис. 1, *а*), заменяется расчетной моделью, которая должна адекватно отражать закономерности деформирования материала натурного изделия при воздействии различных силовых и температурных нагрузок.

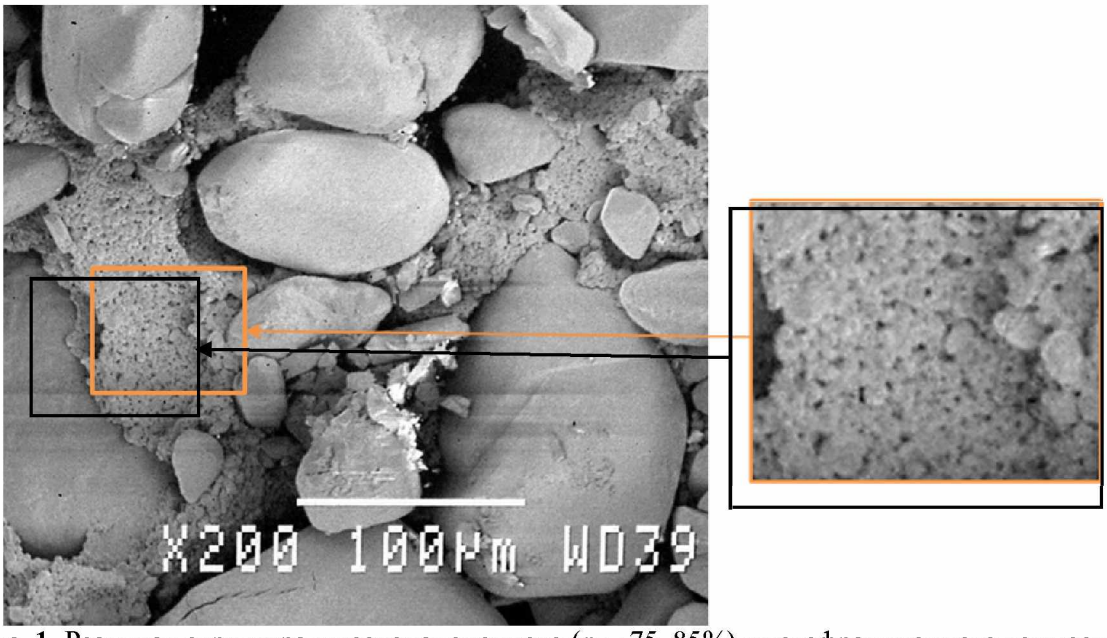


Рис. 1. Реальная структура высоконапоненного (φ = 75–85%) многофракционного композита

Формирование расчетной модели – ключевой элемент компьютерной технологии решения задачи оптимизации структуры и свойств ВКМ. Современные подходы к моделированию структуры наполненных композитов в большинстве случаев базируются на использовании плоских моделей, в которых реализуются условия плоской деформации или плоского напряженного состояния. Однако используемые в материалах изделий РКТ частицы наполнителя имеют пространственную (сферическую, эллиптическую, многогранную и т.п.) конфигурацию (рисунок 1, а). Моделирование структуры и напряженного состояния в объеме таких материалов предопределяет необходимость использования пространственных моделей, позволяющих отразить не только параметры и схему расположения наполнителя, но и особенности процессов взаимодействия частиц, скрепленных с полимерной матрицей [2].

К разрабатываемой модели предъявляются требования адекватности реальному ВКМ по:

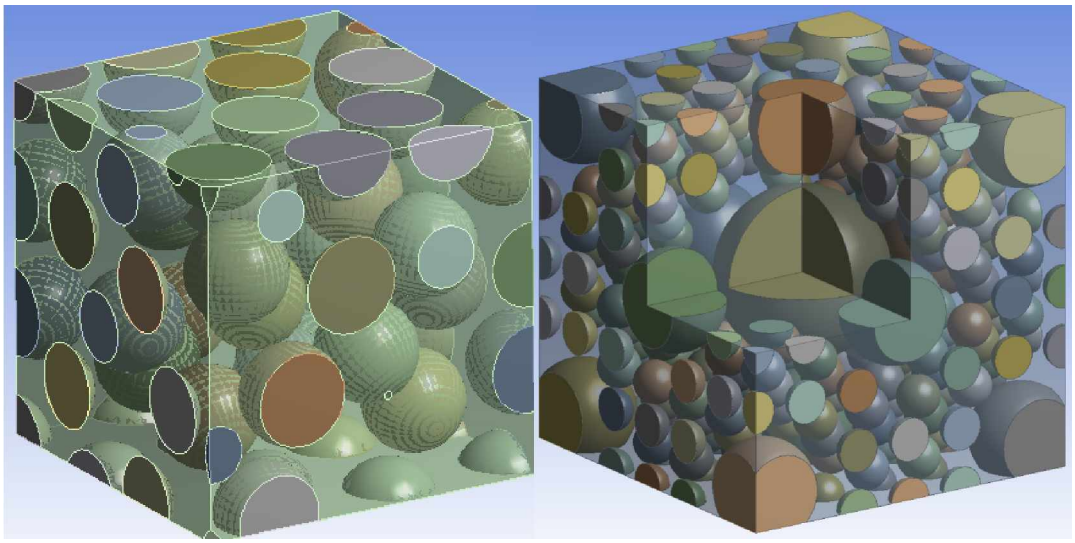
– концентрации, фракционности и форме наполнителя;

– условиям контакта на границе наполнитель – ПМ в процессе силового нагружения (деформирования);

– жесткостным характеристикам наполнителя и ПМ;

– закономерностям развития объемных изменений ($\Delta V/V_0$) в процессе одноосного растяжения.

Механическое поведение связующего (полимерной матрицы) моделировалось упругой моделью, наполнитель принимался абсолютно жестким. Параметры упругой модели связующего определялись экспериментально.



а *б*

Рис. 2. Размерные уровни модели многофракционной структуры наполненного композита: а) I уровень (φ = 25–30%); б) II уровень (φ = 75–80%)

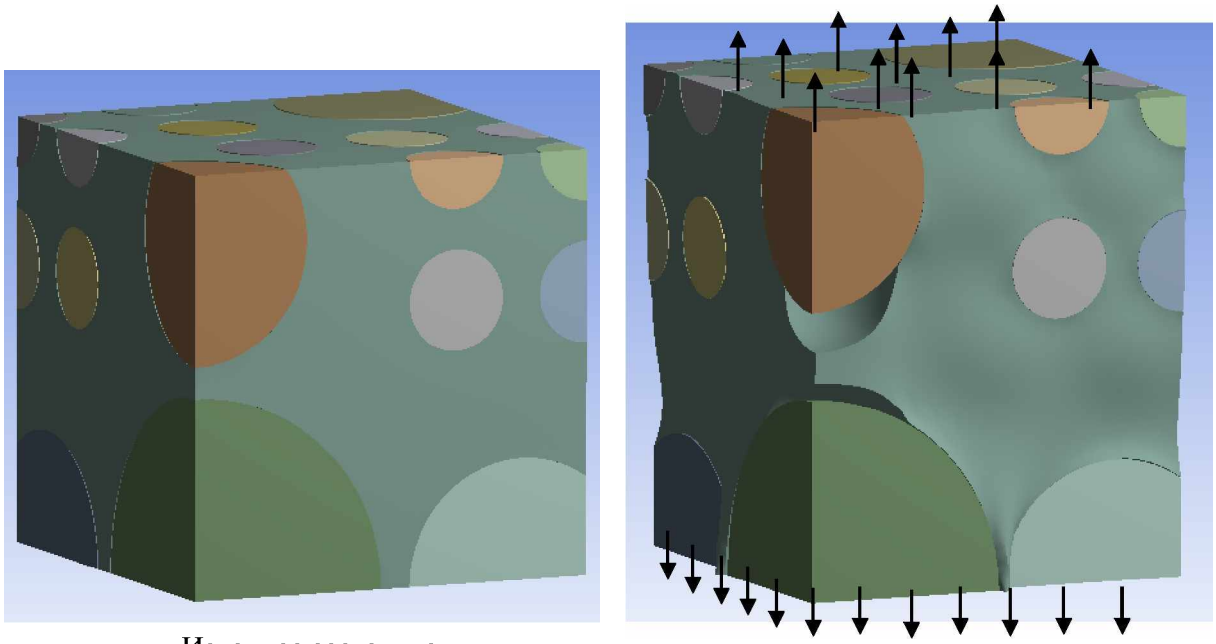
В соответствии с современными технологиями [3, 4], для реализации высокого уровня (φ = 75–80%) заполнения полимерной матрицы наполнителем предусматривалось использование двухуровневых расчетных схем.

Первый уровень (рис. 2, *а*) модели ВКМ – одна мелкозернистая (5 мкм) фракция частиц наполнителя, которые скреплены с ПМ, объемное наполнение 25–30%. Параметры механического состояния ПМ ($E^{(1)}_{св}$, $\mu^{(1)}_{св}$) адекватно отражают характеристики реального связующего ВКМ.

По результатам расчета кривой растяжения $\sigma = f(\varepsilon)$ модели I уровня, определяются параметры механического состояния модели ($E^{(1)}_{эф}$, $\mu^{(1)}_{эф}$), которые в дальнейшем используются в качестве характеристики связующего (ПМ) модели II^{го} уровня ($E^{(II)}_{пм} = E^{(I)}_{эф}$, $\mu^{(II)}_{пм} = \mu^{(I)}_{эф}$). Построение диаграммы деформирования $\sigma = f(\varepsilon)$ модели I^{го} уровня проводилось по результатам расчета деформирования модели методом (МКЭ).

Второй уровень (рис. 2, *б*) модели ВКМ – три крупнозернистые фракции наполнителя, (Ø50, 120, 200 мкм). Суммарное объемное наполнение двух уровней соответствует реальному ВКМ ($\varphi = 80\%$).

При расчете напряженного состояния в модели ВКМ II уровня введено условие реализации отслоений наполнителя по достижении определенного уровня напряжений на границе наполнитель-ПМ во время деформирования (рис. 3). Это позволило отрезать экспериментально регистрируемые эффекты физической нелинейности исследуемого материала при деформировании.



Исходное состояние

Деформированное состояние

Рис. 3. Картины реализации отслоении наполнителя от связующего в структуре расчетной модели при растяжении

С целью верификации полученных результатов расчета была построена диаграмма деформирования $\sigma = f(\varepsilon)$ для реализованной модели, которая удовлетворительно совпадает с экспериментальными данными (рис. 4).

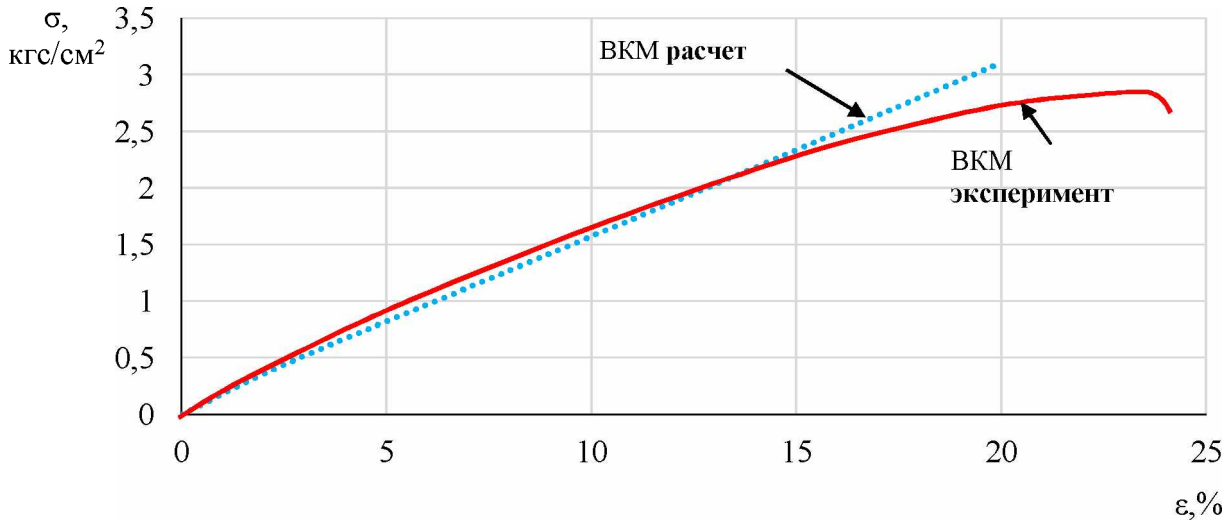


Рис. 4. Расчетная и экспериментальная диаграммы деформирования ВКМ в режиме растяжения $\dot{\varepsilon} = 10^{-3}$ с$^{-1}$

Выводы

1. Сформулированы принципы построения расчетной модели материалов изделий РКТ, позволяющие оптимизировать параметры структурного состояния многофракционного наполнителя из условий моделирования механического поведения ВКМ;

2. Проведен 3D расчет модели серийно изготавливаемого ВКМ. Полученные расчетные данные согласуются с экспериментом;

3. Предложенная модель структуры ВКМ позволяет выявить факторы структуры, оказывающие приоритетное влияние на механические характеристики наполненной композиции.

Литература

1. Banerjee B. Micromechanics-based prediction of thermoelastic properties of high energy materials // A dissertation submitted to the faculty of the University of Utah in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Department of Mechanical Engineering, The University of Utah, December 2002.
2. Жарков А.С., Анисимов И.И., Щемелинин А.В., Бочкарева С.А., Люкшин Б.А., Загородников Р.А. Исследование напряженно-деформированного состояния в структуре наполненного полимерного композита с использованием объемных моделей // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. № 1.
3. Липанов А.М. Теоретические основы отработки твердых ракетных топлив. Ижевск : Изд-во ин-та прикладной механики УрО РАН, 2003.
4. Компьютерное конструирование наполненных полимерных композиций / Б.А. Люкшин, С.В. Панин, С.А. Бочкарева, П.А. Люкшин и др. Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007.

DOI: 10.17223/9785946215596/57

MODELING OF STRUCTURE OPTIMIZATION PROCESSES AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGHLY FILLED COMPOSITES FOR RC ARTICLES

R.A. Zagorodnikov, I.I. Anisimov
JSC FR&PC "ALTAI", Biysk

The creation of structural materials with desired performance properties is a key problem of most technical industries. Rocketry and Cosmonautics (RC) are not exception. The growth of these resource-demanding industries is connected to the constant search and development of new high-strength, erosion- and heat-resistant structural materials for cases, energy-intensive materials of propellant elements of power plant (PP).

Currently, the developments of numerical modeling methods of deformation and failure processes in the structure of high-energy composite materials [1] (HCM) have intensified in relation to the problems of creation and optimization of articles performance characteristics for rocket and space applications The main attention is focused on reducing of volumes, duration and cost parameters of multifactorial laboratory experiments, where the parameters of the filler structure (shape, size, concentration, factiousness, etc.) very to improve performance characteristics of highly filled composite. The actual structure, consisting of polymer matrix and fine-dispersed filler (Figure 1, a) is replaced by the simulated model, which should adequately reflect the material deformation regularities of the full-sized article under various power and thermal loads.

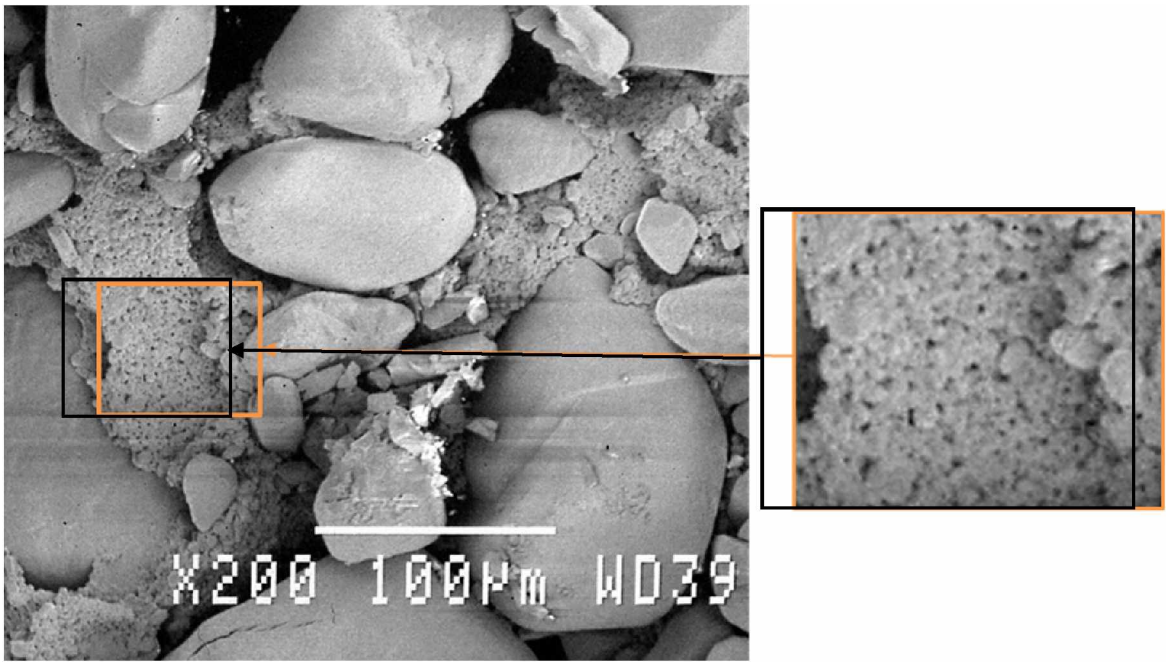


Fig. 1. Real structure of highly filled (φ = 75–85%) multi-fractional composite

The formation of simulated model is a key element in computer technology to solve the problem of optimization of HCM structure and properties. Modern approaches to the modeling of filled com-

posites are in most cases based on the use of two-dimensional models, where the conditions of plane strain or plane stress state have implemented. However, the materials used in RC particles have spatial/three-dimensional (spherical, elliptical, polyhedral, etc.) configuration (Figure 1, *a*). Modeling of the structure and stress state in the volume of such materials requires the use of spatial (three-dimensional) models, allowing reflection not only the parameters and layout of the filler, but the processes peculiarities of particles interaction, bonded with a polymer matrix [2].

Adequacy requirements to the real HCM are put for the developed model. Here are the following:

– concentration, factiousness and shape of the filler;

– contact conditions on the boundary of the filler – PM under loading (deformation);

– filler and PM stiff parameters;

– regularities of volumetric changes ($\Delta V/V_0$) during uniaxial stretching.

The mechanical behavior of the binder (polymer matrix) was simulated by the elastic model, and the filler was taken to be absolutely rigid. The elastic model parameters of the binder were determined experimentally.

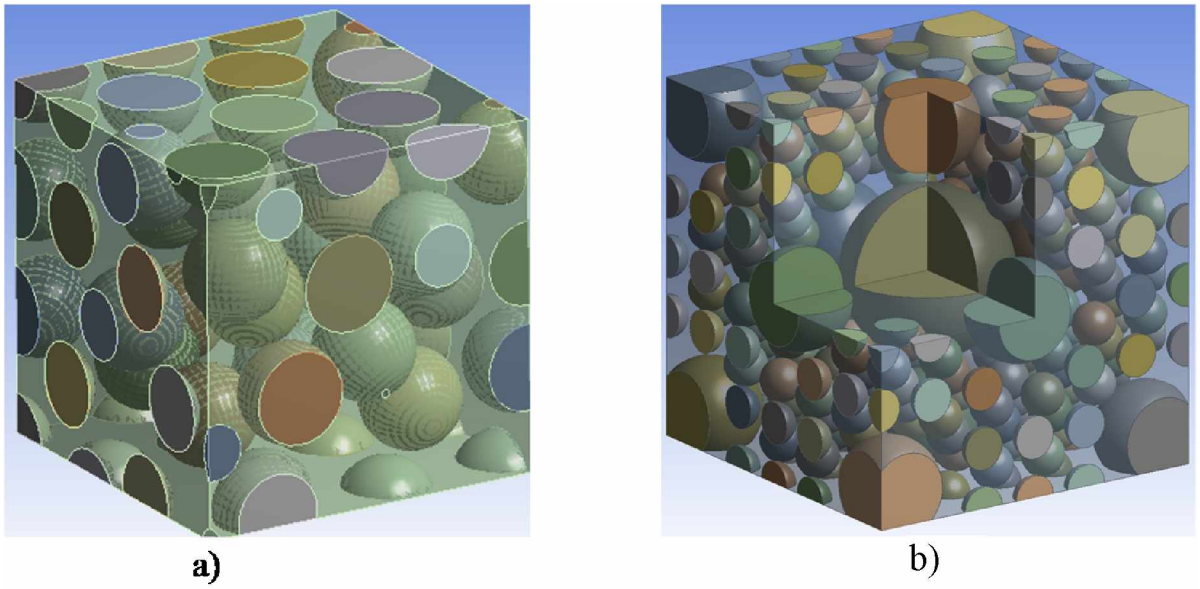


Fig. 2. Model dimensional levels of multi-fractional structure of the filled composite: a) Level I (φ = 25–30%); b) Level II (φ = 75–80%)

According to modern technologies [3, 4], 2-level design models should be used to implement high-level (φ=75-80%) filling of polymer matrix by the filler.

The first level (Figure 2, a) of HCM model – one fine-grained (5 μm) fraction of the filler particles, which are bonded together with PM, the volume filling is 25-30%. PM mechanical state parameters ($E^{(1)}_B$, $\mu^{(1)}_B$) adequately reflect the actual characteristics of HCM binder.

Mechanical state parameters of the model ($E^{(1)}_{ef.}$, $\mu^{(1)}_{ef.}$) are determined based on the calculated results of stress-strain curve $\sigma=f(\varepsilon)$ of the $I^{st.}$ level model, which are then used as binder characteristics

of the II[nd.] level (PM) model ($E^{(II)}_{pm} = E^{(I)}_{ef}$, $\mu^{(II)}_{pm} = \mu^{(I)}_{ef}$). The construction of the deformation curve $\sigma=f(\varepsilon)$ of the I[st.] level model was carried out based on the calculated results by FEM method.

The second level (figure 2, b) of HCM model is three coarse-grained fractions of the filler (Ø50, 120, 200 μm). The total volume filling of two levels corresponds to the real HCM (φ=80%).

When calculating the stressed state in the HCM model of the II level, the condition of possible filler delimination by reaching a certain level of stress at the boundary filler-PM during deformation was introduced (Figure 3). This allowed removing the experimentally recorded effects of physical nonlinearity of the studied material during deformation.

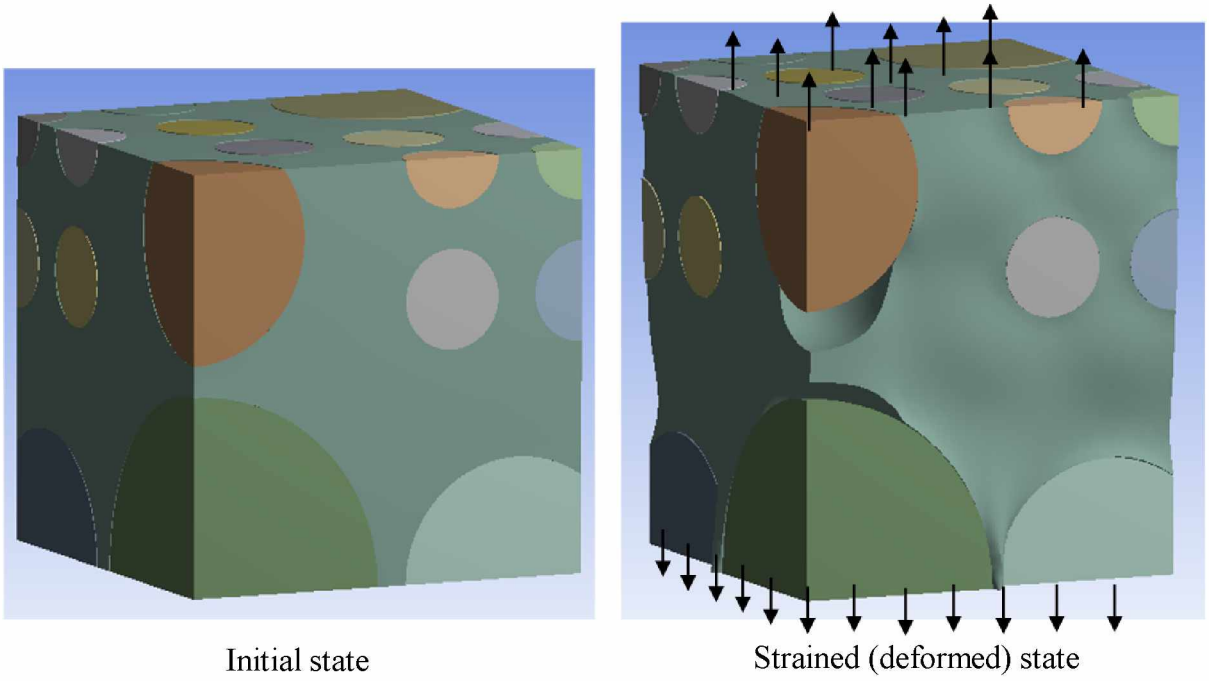


Fig. 3. Separation of the filler from the binder in the structure of calculated model under tension

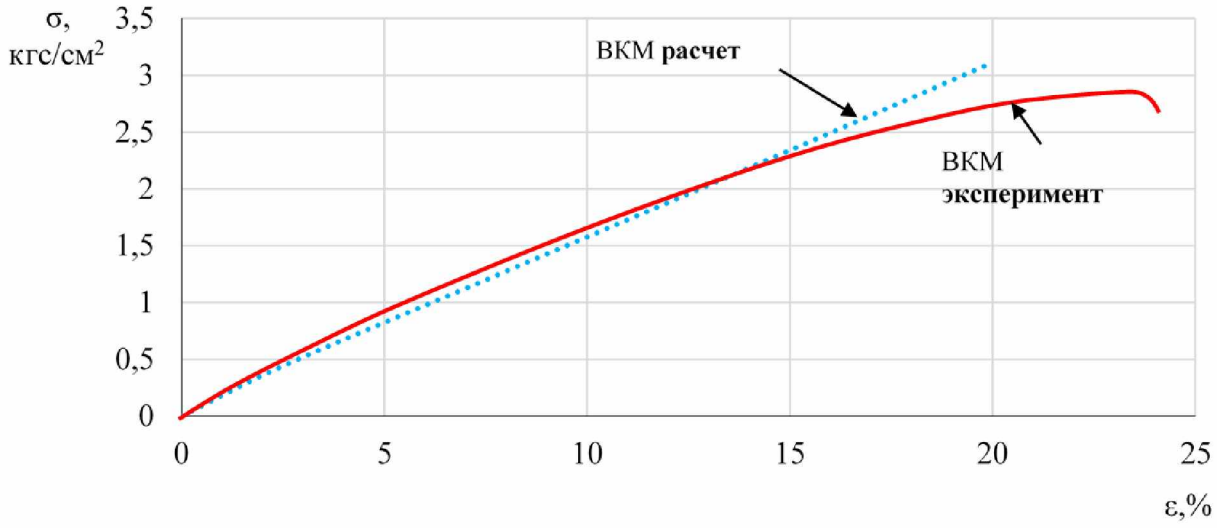


Fig. 4. Prediction and experiment curves of HCM during tension $\dot{\varepsilon} = 10^{-3}$ c^{-1}

Deformation curve $\sigma=f(\varepsilon)$ for the implemented model was constructed in order to verify the obtained results of calculations. It satisfactorily coincides with the experimental data (Figure 4).

Conclusions

1. The principles to construct the simulated model of the materials of RC articles allowing optimization the structural state parameters of multi-fraction filler based on the modeling of HCM mechanical behavior are formed;

2. 3D calculation of the model of serial produced HCM is performed. The obtained calculated results agree with the experiment ones;

3. The proposed model of HCM structure allows to identify the structure factors effecting mostly on mechanical characteristics of the filled composition.

References

1. Banerjee B. Micromechanics-based prediction of thermoelastic properties of high energy materials // A dissertation submitted to the faculty of the University of Utah in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Department of Mechanical Engineering, The University of Utah, December 2002.
2. Zharkov A.S., Anisimov I.I., Shchemelinyn A.V., Bochkaryova S.A., Lyukshyn B.A., Zagorodnikov R.A. Investigation of stress-strain state in the structure of filled polymer composite using 3D models. // Mechanics of composite materials and structures. 2012. No. 1.
3. A.M. Lipanov Theoretical bases of solid rocket propellants processing/ Technical. editor E.G. Vershinina. – Izhevsk: Publishing house of Institute of applied mechanics UB RAS, 2003.
4. Computer-aided desig of filled polymer compositions / B.A. Lyukshin, S.V. Panin, S.A. Bochkaryov, P.A. Lyukshin, etc. Tomsk : Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, 2007.

DOI: 10.17223/9785946215596/58

ДИСТАНЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР СЛЕДОВ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

С.М. Бобровников[1, 2], А.Б. Ворожцов[2], Е.В. Горлов[1, 2], В.И. Жарков[1], Е.М. Максимов[3], Ю.Н. Панченко[4], Г.В. Сакович[5]

[1]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск
[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск
[3]Федеральная служба безопасности РФ
[4]Институт сильноточной электроники СО РАН, г. Томск
[5] Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск

Основной целью государственной стратегии противодействия терроризму является обеспечение надежной защиты граждан, общества и государства от террористических угроз путем упреждения террористических актов и максимально эффективного их пресечения. Данная цель может быть достигнута в результате решения комплекса задач, одной из которых является повышение уровня технической вооруженности служб безопасности путем оснащения их новейшими средствами разведки и обнаружения террористической опасности.

Одним из приоритетных направлений научно-технических исследований и разработок в области противодействия терроризму видится развитие технических средств и эффективных методов оперативного обнаружения взрывчатых веществ, взрывных устройств и других взрывоопасных предметов.

В проведенных ранее исследованиях [1–3] авторами была экспериментально доказана возможность дистанционного обнаружения ВВ по их парáм с помощью метода лазерной фрагментации/лазерно-индуцированной флуоресценции (ЛФ/ЛИФ). Дальность обнаружения составила более 10 метром при чувствительности обнаружения порядка 10^{-12} г/см^3.

Дальнейшие работы по исследованию возможностей ЛФ/ЛИФ-метода позволили обосновать применимость этой технологии для обнаружения *следов* ВВ и сформулировать направления исследований для решения задачи создания дистанционного обнаружителя следов ВВ.

В результате, в период с 2012 по 2013 гг. был разработан и изготовлен экспериментальный образец лазерного сканирующего дистанционного детектора следов (ДДС) ВВ. Оценочные испытания ДДС ВВ продемонстрировали возможность дистанционного обнаружения следовых количеств ВВ в отпечатках пальцев, оставленных на поверхности обследуемого объекта. ДДС достоверно регистрировал отклик на наличие тротила и гексогена в сотом отпечатке пальца, что соответствует поверхностной концентрации частиц ВВ на уровне единиц нг/см^2.

Проведенные исследования показали перспективность метода ЛФ/ЛИФ для создания детекторов, которые позволят дистанционно на расстоянии нескольких метров обнаруживать следовые количества ВВ с возможностью визуализации мест их локализации на поверхностях предметов.

Литература

1. Бобровников С.М., Горлов Е.В. Лидарный метод обнаружения паров взрывчатых веществ в атмосфере // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 12. С. 1055–1061.

2. S.M. Bobrovnikov, E.V. Gorlov, Yu.N. Panchenko, G.V. Sakovich, A.B. Vorozhtsov, B.I. Vorozhtsov, A.A. Pavlenko, E.V. Maksimenko, A.A. Reznev, E.M. Maksimov, A.N. Perederii. Remote detection of explosive vapors in the atmosphere // High Energy Materials: Demilitarization, Antiterrorism and Civil Applications: abstracts of V International Workshop HEMs-2010 (Sept. 8–10, 2010, Biysk). Biysk : Publ. hous AltSTU, 2010. P. 175–176.
3. Bobrovnikov S., Gorlov E., Zharkov V., Panchenko Yu., Sakovich G., Vorozhtsov A., Maksimov E. LIDAR System for Detection of Explosive Vapors // Materials of 9th International Workshop High Energy Materials (HEMs) Workshop "Civil and Green Applications of High Energy Materials", 7–9 October 2013. Kanagawa, Japan. P. 126–127.

DOI: 10.17223/9785946215596/58

REMOTE DETECTOR OF EXPLOSIVE TRACES

S.M. Bobrovnikov[1, 2], A.B. Vorozhtsov[2], E.V. Gorlov[1, 2], V.I. Zharkov[1], E.M. Maksimov[3], Yu.N. Panchenko[4], G.V. Sakovich[5]

[1]V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk
[2]National Research Tomsk State University, Tomsk
[3]The Federal Security Service of the Russian Federation (FSB)
[4]Institute of High Current Electronics SB RAS, Tomsk
[5]Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies SB RAS, Biysk

Main purpose of the state strategy to counter terrorism is to ensure reliable protection of citizens, society, and the state from terrorist threats by forestalling the terrorist attacks and the most effective their suppression. This aim can be achieved by solving a complex of problems, one of which is to improve the level of technical equipment of the security forces by providing them with the latest technical tools for intelligence and detection of terrorist threats.

One of the priority directions of scientific and technological researches in the field of counter terrorism is the development of technical facilities and effective methods of operative detection of explosives and explosive devices.

In previous studies [1–3], we experimentally proved the possibility of remote detection of vapors of explosives using the laser fragmentation/laser-induced fluorescence (LF/LIF) method. The detection range was more than 10 meters and the detection sensitivity was about 10^{-12} g/cm^3.

Further works on studying the possibilities of the LF/LIF method allowed us to justify the applicability of this approach for the detection of the explosives traces and to formulate the research directions to solve the problem of creating a remote detector of explosives traces.

As a result, between 2012 and 2013, an experimental model of the scanning laser remote detector of traces of explosives was designed and built. Evaluation tests of the remote detector demonstrated the possibility of the remote detection of trace amounts of explosives in fingerprints deposited on the surface of the inspected object. The remote detector reliably recorded the response to the presence of TNT and RDX in the 100th fingerprint, which corresponds to a surface density of explosives particles of about 1-10 ng/cm^2.

The investigations have shown that the LF/LIF method is promising for the creation of detectors capable of remote detection of trace amounts of explosives from a distance of several meters with the ability to visualize places of their localization on the surfaces of objects.

References

1. Bobrovnikov S.M., Gorlov E.V. Lidar Method for Detecting Explosive Vapors in the Atmosphere // Opt. Atmos. Okeana. 2011. V. 23, № 12. P. 1055–1061.
2. Bobrovnikov S.M., Gorlov E.V., Panchenko Yu.N., Sakovich G.V., Vorozhtsov A.B., Vorozhtsov B.I., Pavlenko A.A., Maksimenko E.V., Reznev A.A., Maksimov E.M., Perederii A.N. Remote detection of explosive vapors in the atmosphere // High Energy Materials: Demilitarization, Antiterrorism and Civil Applications: abstracts of V International Workshop HEMs-2010 (Sept. 8–10, 2010, Biysk). Biysk : Publ. hous AltSTU, 2010. P. 175–176.
3. Bobrovnikov S., Gorlov E., Zharkov V., Panchenko Yu., Sakovich G., Vorozhtsov A., Maksimov E. LIDAR System for Detection of Explosive Vapors // Materials of 9th International Workshop High Energy Materials (HEMs) Workshop "Civil and Green Applications of High Energy Materials", 7–9 October 2013. Kanagawa, Japan. P. 126–127.

DOI: 10.17223/9785946215596/59

УТИЛИЗАЦИЯ СИЛИКАТНЫХ ОТХОДОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН С ПОМОЩЬЮ ЭНЕРГИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ

Г.Г. Волокитин[2], Н.К. Скрипникова[2], А.И. Потекаев[1], О.Г. Волокитин[2], В.В. Шеховцов[1]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

[2]Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

На территории России находятся сотни тысяч тонн силикатных отходов, в том числе и отходов энергетических производств, пригодных для создания на их основе качественных материалов отвечающих современным требованиям. Уровень утилизации техногенных отходов в России составляет около 4–5%, в Европе до 70%. Утилизация техногенных отходов исключает огромные финансовые затраты, положительно влияет на экологическую обстановку мест размещения золоотвалов и позволяет производить материалы с повышенными эксплуатационными свойствами.

Целью настоящей работы является – проведение исследований по получению минеральных волокон из расплава золошлаковых отходов и продуктов сжигания горючих сланцев, исследование свойств полученного волокна.

Химический анализ исходных материалов (табл. 1) показывает, что преобладающими в их составе являются оксиды кремния и алюминия. Расплавы с высоким содержанием SiO_2, полученные при воздействии на них высокотемпературных источников энергии при охлаждении переходят в стеклообразное состояние.

Таблица 1

Химический состав исходных сырьевых материалов

Материал	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Прочие
Продукты сжигания сланцев	61,59	23,36	7,91	1,60	1,27	4,27
Золошлаковые отходы	51,16	34,57	3,62	8,33	0,91	1,41

Анализ данных (табл. 1) показал, что повышенное содержание SiO_2 в золошлаковых отходах и продуктах сжигания сланцев определяет высокую температурную и химическую стойкость получаемых из них минеральных волокон, а также повышенные эксплуатационные характеристики.

Исследования по применению низкотемпературной плазмы для получения силикатного расплава при производстве минеральных волокон выявили ряд особенностей при конструировании плавильного агрегата. С учетом этих особенностей была разработана экспериментальная плавильная печь для получения высокотемпературных силикатных расплавов плазменным методом.

Моноволокна, полученные из расплавов золы и продукта сжигания сланцев, отличаются по длине и диаметру, что связано с различным химическим составом сырья, а также вязкостью получаемого из него расплава при одинаковых условиях плавления и выработки волокон (рис. 1). Характер распределения моноволокон в минераловатном ковре по диаметру говорит о стабильности процесса раздува и надежности работы используемой схемы.



а *б*

Рис. 1. Микрофотографии минеральных волокон (х 300):
а – золошлаковые отходы d = 9 мкм; б – продукты сжигания сланцев, d = 11 мкм.

Таблица 2

Характеристики волокон и свойства минеральной ваты

Свойства	Минеральное волокно из золы	Минеральное волокно из продуктов сжигания сланцев	ВМ-В ГОСТ 4640-93
1. Модуль кислотности	<9,28	<29,59	<1,4
2. Средний диаметр волокна, мкм, не более	9	10	12
3. Длина волокна, мм	50–90	60–90	40–60
4. Температура деструкции волокна	765	790	–

В результате проведенных экспериментов с использованием энергии низкотемпературной плазмы были получены силикатные расплавы из золошлаковых отходов и отходов горючих сланцев, обладающие необходимой температурой и вязкостью для выработки качественных минеральных волокон. Исследование характеристик полученных минеральных волокон позволяют сделать вывод: полученные волокна обладают повышенными эксплутационными свойствами, что предполагает их долговечность. Полученные на основе минеральных волокон теплоизоляционные материалы могут быть использованы в агрессивных средах с повышенными температурами, в том числе для теплоизоляции ядерных реакторов.

DOI: 10.17223/9785946215596/59

SILICATE WASTE UTILIZATION IN CASE OF PRODUCTION MINERAL FIBERS BY MEANS OF ENERGY LOW-TEMPERATURE PLASMA

G.G. Volokitin[2], N.K. Skripnikova[2], A.I. Potekayev[1], O.G. Volokitin[2], V.V. Shekhovtsov[1]

[1]National Research Tomsk State University, Tomsk

[2]Tomsk State University of Architecture and Building, Tomsk

In the territory of Russia there are hundreds thousands of tons of silicate waste including waste of the energy productions suitable for creation on their basis high-quality construction materials meeting the modern requirements of a construction industry. Utilization level of technogenic waste in Russia constitutes about 4-5%, in Europe to 70%. Technogenic waste utilization in case of production construction materials excludes huge finance costs and positively influences an ecological situation of ash dumps locations.

The purpose of this work is – carrying out researches on receipt fusion from the refractory silica raw materials representing ashes waste and products of slates combustion, research properties of the received mineral fiber.

The chemical composition of initial materials shows that oxides of silicon and aluminum are prevailing in their structure. The fusions with the high content of SiO_2 received in case of impact to them high-temperature power sources when chilling pass into a vitreous condition.

Table 1

Chemical composition of raw materials исходных сырьевых материалов

Raw material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Other
Products of slates combustion	61,59	23,36	7,91	1,60	1,27	4,27
Ashe wastes	51,16	34,57	3,62	8,33	0,91	1,41

The analysis of data (tabl. 1) has shown that the increased content of SiO_2 in the ashe waste and products of slates combustion determines high temperature of fusions receipt and development of fibers. Temperature of destruction fibers is supposed to increase.

Researches on use low-temperature plasma for silicate fusion receipt in case of mineral fibers production have revealed a number of features when designing the melting aggregate. Taking into ac-

count these features the experimental melting furnace has been developed for receipt high-temperature silicate fusions by a plasma method.

The monofibres received from fusions of ashes and a product of slates combustion differ on length and diameter that is connected with various chemical composition of raw materials, and also the fusion received by viscosity from it under identical conditions of melting and fibers development (fig. 1). Nature of distribution monofibres in a mineral-cotton carpet on diameter speaks about stability of blowing process a and reliability of the used scheme.



a) b)

Fig. 1. Microphoto of mineral fibers (× 300):
a – ashe wastes d=9 mkm; *b* – products of slates combustion, d = 11 mkm

Table 2

Characteristics and properties of mineral fibers

Properties	Mineral fibers from ashe waste	Mineral fibers from products of slates combustion	Mineral fibers GOST 4640-93
1. Module acidities	<9,28	<29,59	<1,4
2. Average diameter of fiber, mm	9	10	12
3. Fiber length, mm	50-90	60-90	40-60
4. Temperature of destruction, C	765	790	-

As a result of the conducted researches, high-temperature silicate fusions from the ashe waste and waste from slates combustible having temperature, necessary for development high-quality chemically resistant mineral fibers, and viscosity are received. It is established that the specified fusions can be used for receipt mineral fiber with use of low-temperature plasma. It is established that capacity of the plasma generator has enough for receipt high-temperature silicate fusions. The researched characteristics of the received mineral fibers allow to draw a conclusion that the fiber received from energy productions wastes is characterized by the increased chemical stability that assumes the greatest durability. For reduction of fibers diameter it is necessary to increase fusion temperature in case of blowing.

DOI: 10.17223/9785946215596/60

ПОЛИТИЧЕСКОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В ОПК КАК ИНСТРУМЕНТ НАЦИОНАЛЬНОГО БРЕНДИНГА И ГЛОБАЛЬНОГО МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Е.А. Данилова

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

Ввиду роста глобальных вызовов, в том числе угрозы международного терроризма, остро актуальны задачи как поддержания национальной безопасности и обороноспособности Российской Федерации, так и расширения международного сотрудничества в этой области. Большую актуальность имеет тема инновационного развития российской оборонной промышленности в связи с ее ролью катализатора инновационных преобразований в других отраслях экономики за счет трансфера передовых технологий в гражданский сектор экономики и возможностей углубления внешних партнерских связей в этом направлении. Ключевые субъекты ОПК, реализуя инновационную политику, оказывают существенное влияние не только на развитие отрасли, но и на политическое позиционирование государства в мире.

В ходе анализа применения инновационных инструментов как способа позиционирования субъектов национального брендинга в различных регионах РФ выявлено, что применение их оптимального набора способствует формированию бренда как субъекта инноваций, так и территории, которую тот представляет, в том числе, на национальном уровне. Российские «инновационные пояса», концентрирующие в себе инновационный потенциал развития для запуска наукоемких производств по стратегическим направлениям развития РФ, представлены Центральным, Приволжским, Северо-Западным и Сибирским регионами. Ключевые игроки «инновационных поясов» способны выступить эффективными субъектами политики территориального и национального брендинга.

Анализ практической модели политического позиционирования и коммуникационного взаимодействия инновационных субъектов национального брендинга с участием предприятий, вузов и научных учреждений в рамках Сибирского региона (в частности, ФНПЦ «Алтай», Института проблем химико-энергетических технологий, Томского государственного университета, Бийского технологического института и др.) указывает на эффективность использования инструментов и институтов инноваций как регионального (оборонный кластер г. Бийска, алтайский биофармацевтический кластер), так и федерального (технологические платформы «Моделирование и технологии эксплуатации высокотехнологичных систем», «Промышленность будущего»; государственные фонды финансирования науки «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере», «Российский фонд технологического развития» и др.) уровней. Инновационный потенциал данной модели говорит о возможности включения ее субъектов в стратегию национального брендинга и о необходимости ее тиражирования на других субъектов отрасли.

Основными целевыми аудиториями в стратегии национального брендинга, в адрес которых должна быть направлена системная коммуникационная политика, являются население

страны, предприятия ОПК, национальные вузы ОПК, научные учреждения ОПК (на начальном этапе с целью их вовлечения в реализацию стратегии национального брендинга и усиления инновационной активности), мировая общественность, международные образовательные структуры, международное научное сообщество, международные властные структуры, лидеры стран. При условии развитой инновационной деятельности и ее эффективной коммуникационной репрезентации предприятия, вузы и научные учреждения ОПК становятся активными субъектами стратегии национального брендинга, наряду с государством. Реализация совместных прорывных инновационных проектов в интересах всего международного сообщества будет способствовать смягчению геополитической напряженности и гармонизации общемировой обстановки для решения глобальных задач.

DOI: 10.17223/9785946215596/60

POLITICAL POSITIONING OF INNOVATION DUAL TECHNOLOGIES IN DEFENSE INDUSTRY AS AN INSTRUMENT OF NATIONAL BRANDING AND INTERNATIONAL COLLABORATION

E.A. Danilova
National Research Tomsk State University, Tomsk

In view of global challenges increasing, including international terrorism threat, tasks of national safety and defense capacity support and international collaboration extension in this area are sharply actual. The theme of Russian defense industry innovation development is very important because of its role of the innovation catalyst in another economics sectors due to the transfer of high technologies to the civil sector of economics and possibilities of external partner links intensification in this direction. The key defense industry subjects realizing innovation policy influence not only on industry development but also on political positioning of the state in the world.

In the course of the analysis of the innovation instruments application for positioning of national branding subjects in different Russian regions we've found out that the usage of their optimal set promote of forming both of the innovation subjects brands and territorial brands, which they represent, including national level. Russian "innovation belts", which concentrates innovation development potential for initiation of knowledge-intensive productions for strategic directions of Russian Federation development, are represented of Central, Volga, North-Western and Siberian federal districts. Key players of "innovation belts" could be effective subjects of territorial and national branding policy.

The analysis of the practical model of political positioning and communicative interaction of national branding innovation subjects including enterprises, universities and academic institutes in the Siberian district frames (in particular JSC "Federal Research and Production Center "Altai", Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, National research Tomsk state university, Biysk technological institute and so on) demonstrates an effectiveness of using of innovation instruments and institutions both on the regional

level (Biysk defense cluster, Altai biopharmaceutical cluster) and on the federal level (technological platforms "Medicine of the Future" and "Simulation and exploitation technologies of high-technological systems"; state funds "Foundation for Assistance to Small Innovative Enterprises", "Russian Foundation for Technological Development", "Advanced Research Foundation" etc.). Innovation potential of this model is evidence of the capacity of its actors including into the national branding strategy and of the necessity of its replication for another subjects of defense industry.

The basic target groups in the national branding strategy, in the address of which the system communication policy should be direct, are population of the country, defense enterprises, defense universities, defense academic institutes (at the start stage for their involvement in realization of the national branding strategy and their innovation activity strengthening), international community, international education structures, international science community, international power structures, leaders of the countries. Advanced innovation activity and its effective communicative representation are the conditions for including of key actors of defense industry in fulfillment of the national branding strategy as well as the state. Realization of cooperative breakthrough innovation projects in the interests of the whole international community will promote for softening of geopolitical tension and harmonization of international climate for solution of global tasks.

DOI: 10.17223/9785946215596/61

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ И НАПЫЛЕНИЯ

Д.А. Романов, Е.А. Будовских, В.Е.Громов
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Одними из перспективных методов обработки поверхности, получившими развитие в последние годы, являются электровзрывное легирование (ЭВЛ) и электровзрывное напыление (ЭВН). Диаграмма реализованных технологических процессов обработки поверхности на установке ЭВУ 60/10 показана на рисунке. Здесь q – плотность мощности, поглощаемая поверхностью при обработке и определяемая энергией заряда, m – масса взрываемого проводника и порошковой навески, помещаемой в область взрыва.

В первой области при значении плотности мощности порядка 10^3 Вт/см^2 в зависимости от массы взрываемого проводника возможно нанесение покрытий частицами порошка, нанесение покрытий конденсированными продуктов взрыва, нанесение тонких пленок из продуктов взрыва, закалка из твердого состояния. Масса взрываемого проводника порядка 100 мг обеспечивает нанесение покрытий частицами порошка. Уменьшение массы до значений порядка 10 мг обеспечивает нанесение покрытий конденсированными продуктами взрыва. При дальнейшем уменьшении массы взрываемого проводника содержание и дисперсность конденсированных частиц продуктов взрыва в струе уменьшается. В этом случае оказывается возможным нанесение на облучаемую поверхность тонких пленок.



Рис. 1. Диаграмма технологических процессов поверхностного легирования и нанесения защитных покрытий с использованием многофазных плазменных струй, реализованных на установке ЭВУ 60/10

При малых значениях массы взрываемого проводника положительный эффект обработки может быть достигнут также вследствие импульсной закалки поверхностных слоев из твердого состояния. Во второй области, где поглощаемая плотность мощности порядка 10^5 Вт/см^2, обработка с использованием порошковых навесок позволяет проводить армирование оплавляемых поверхностных слоев частицами различных веществ (карбидов, оксидов, боридов и др.), помещаемых в область взрыва и переносимых на облучаемую поверхность. В случае, когда порошковые навески не используются, возможно осуществление такого вида ЭВЛ, при котором расплав, образующийся на поверхности, насыщается продуктами взрыва проводников, в качестве материала которых могут выступать, например, тонкие фольги металлов и сплавов, углеграфитовые и другие волокна.

Перспективы дальнейших научных исследований и практических разработок в области ЭВЛ и ЭВН связываются с электровзрывным формированием на поверхности металлов и сплавов новых структурно-фазовых состояний с использованием термореагирующих компонентов. В этом случае наблюдается ускорение физико-химических процессов взаимодействия легирующих элементов с материалом подложки и друг с другом, сопровождающееся синтезом упроч-

няющих фаз. При выборе номенклатуры деталей и инструментов для обработки следует исходить, прежде всего, из размеров и формы упрочняемой поверхности. Наилучшие результаты достигаются на плоских поверхностях диметром до 30 мм.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-60032 мол_а_дк, при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-4166.2015.2, госзаданий Минобрнауки №№ 2708 и 3.1496.2014/К на выполнение научно-исследовательской работы. Данная работа была выполнена с частичным использованием оборудования Центра коллективного пользования «Материаловедение» СибГИУ.

DOI: 10.17223/9785946215596/61

HIGHLIGHTS OF ELECTROEXPLOSIVE ALLOYING AND SPRAYING

D.A. Romanov, E.A. Budovskyh, V.E. Gromov
Siberian state industrial university, Novokuznetsk

Electroexplosive alloying (EEA) and electroexplosive spraying (EES) are among the promising methods of surface treatment, developing in recent years. Diagram of technological processes of surface treatment implemented using EVU 60/10 facility is provided on the picture (Fig. 1). Here q stands for power density absorbed by the surface during processing and determined by the energy of charge, m is mass of the exploded conductor and powder charge being placed in the area of explosion.

In the first part at value of power density of 10^3 W/cm^2 depending on the weight of exploded conductor possible methods are as follows: deposition of coatings with powder particles, with condensed products of explosion, deposition of thin films made of explosion products, solid quenching. Mass of exploded conductor of about 100mg provides coating spraying with powder particles. Decreasing mass to 10 mg provides coatings deposition with condensed products of explosion. With further decrease of exploded conductor mass content and dispersion of condensed explosion products particles in the jet decreases. In that case, deposition of thin films on the irradiated surface is possible. For small mass values of exploding conductor positive processing effect can be obtained as a result of impulse hardening of the surface layers from the solid state. In the second part where the absorbed power density is about 10^5 W/cm^2, treatment with powder charges enables reinforcement of fused surface layers with particles of different substances (carbides, oxides, borides, etc.), placed in explosion area and transferred onto irradiated surface. In case when the powder charges are not used, it is possible to implement the type of EEA, in which the melt formed on the surface is saturated by the conductors explosion products, represented by thin foils, of metals and alloys, carbon-graphite and other fibers.

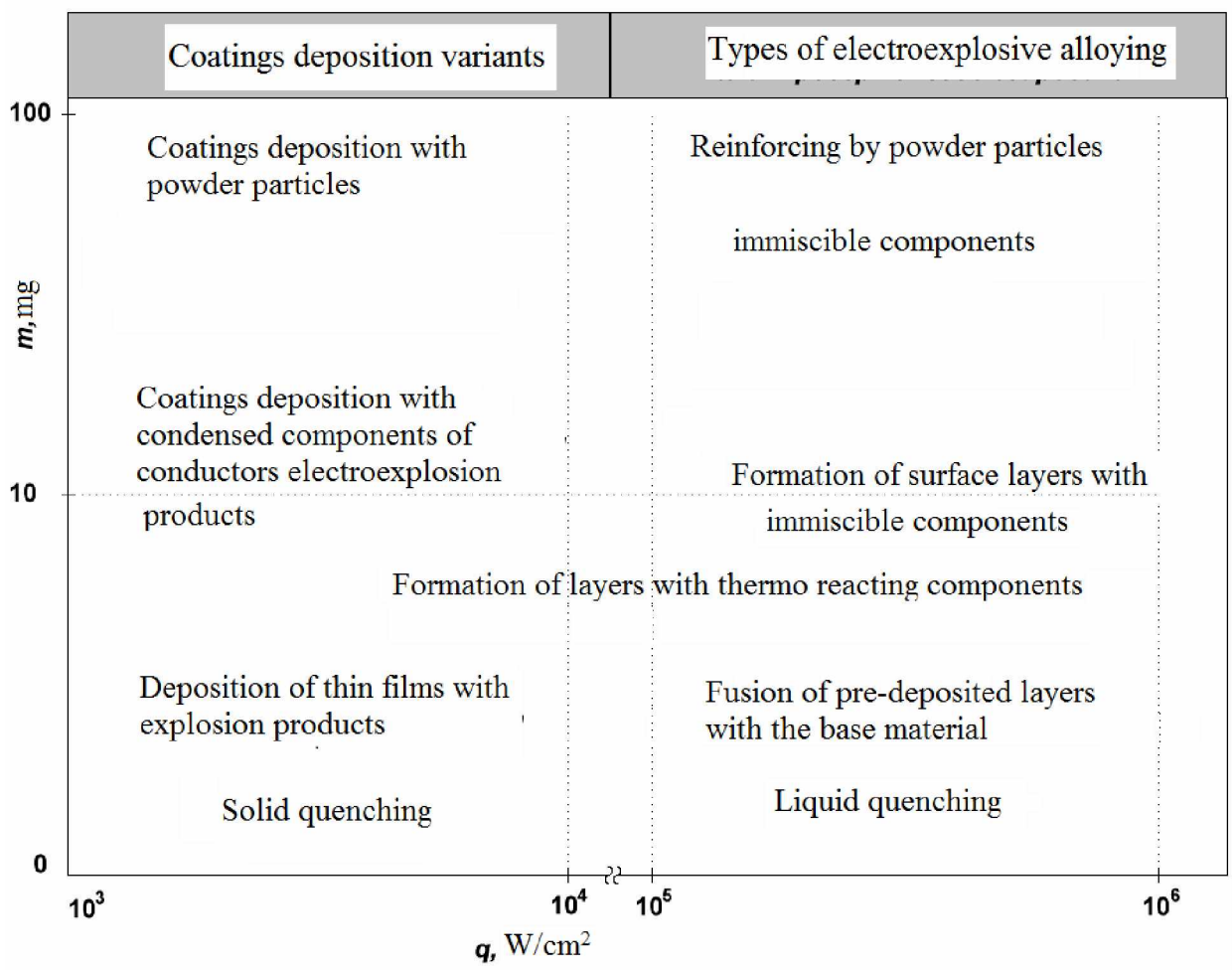


Fig. 1. Diagram of technological processes of the surface alloying and protective coating deposition using multiphase plasma jets produced at EVU 60/10 facility

Prospects for the further research and practical developments in the field of EEA and EES are associated with electroexplosive formation of new structure and phase states on the surface of metals and alloys using thermo active components. In that case, acceleration of physical and chemical interaction processes between the base surface material and alloying elements are observed, accompanied by synthesis of hardening phases. When choosing a range of parts and tools for processing the size and shape of hardening surface should be taken into account primarily. Best results are achieved on flat surfaces with diameter up to 30mm.

The study was sponsored by RFBR in the framework of research project number 16-32-60032 mol_a_dk, with the financial support of the MK-4166.2015.2 Grant of the President of the Russian Federation for the state support of young Russian scientists with academic degree of Candidate of Sciences, the state orders of the Ministry of Education № 2708 and 3.1496.2014/K for R&D work. Current work was carried out partially using equipment of the SibSIU Material science sharing center.

DOI: 10.17223/9785946215596/62

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОРМОЖЕНИЯ СТРУИ ПРИ ЕЕ ОРОШЕНИИ ВОДОЙ

В.В. Лукин, А.С. Лебедев, А.Ю. Шевырин
АО «ФНПЦ «Алтай», г. Бийск

В настоящее время актуальной является проблема обеспечения экологической безопасности окружающей среды при проведении стендовых испытаний изделий. Как показал опыт, наиболее приемлемым способом нейтрализации продуктов сгорания, попадающих в окружающую среду, является орошение струи водой. Вода приводит к торможению и охлаждению струи и обеспечивает удержание вредных веществ на испытательном стенде.

В докладе приводятся результаты исследований, полученные авторами при использовании орошения водой струи малогабаритного изделия. Расположение изделия и оросительной установки на стенде приведено на рис. 1.

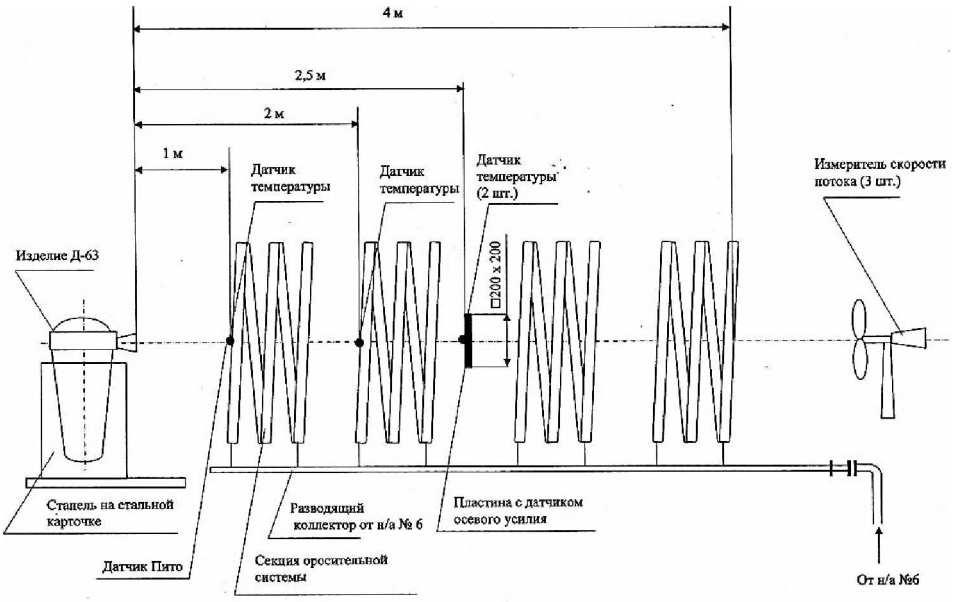


Рис. 1. Схема расположения изделия и оросительной установки

Оросительная установка представляет собой расположенные друг за другом, 4 спиральные секции, выполненные из металлопластиковой трубы Ø16 мм. Диаметр спирали 1 м, шаг спирали 0,25 м. Подача воды к оси струи продуктов сгорания производится через отверстия Ø3 мм. Суммарный расход воды составляет 14,5 кг/с, который обеспечивается насосом и контролируется расходомером, установленным на входе разводящего коллектора. Расход продуктов сгорания составляет в среднем около 0,17 кг/с, диаметр критического сечения сопла 12 мм, выходного сечения 32 мм, что обеспечивало безотрывный режим истечения.

При проведении испытаний использовалась следующая измерительная аппаратура:

– трубка Пито, расположенная на оси струи на расстоянии 1 м от сопла;

– датчик силы, действующей на пластину 20×20 см на расстоянии 2,5 м;

– тарированный датчик типа «вертушка» для измерения скорости потока на оси струи и на расстоянии 30см от оси на расстоянии 7 м от сопла.

Полученные по результатам измерений данные по скорости струи приведены в табл. 1. Здесь же представлены результаты расчетов по разработанному ранее численному методу, основанному на совместном решении уравнений движения продуктов сгорания и частиц воды [1]. Видно, что имеется хорошее соответствие расчетных и опытных параметров.

Таблица 1

Сравнение опытной и расчетной скорости струи, в м/с

Положение датчика	L = 1,0 м		L = 2,5 м		L = 7,0 м	
Орошение	Нет	Есть	Нет	Есть	Нет	Есть
Опыт	55–180	96–192	28–53	18–28	12–15,5	5,0
Численный расчет	136	136	35–39	20–30	9,5–14	5–7
Приближенный расчет	130	130	54	20	20	9,6

Для проведения оценок торможения струи водой, авторами предложена полученная с использованием закона сохранения импульса приближенная формула, позволяющая рассчитать осредненную по сечению струи скорость потока в зависимости от продольной координаты и массы подаваемой воды. Как следует из таблицы, приближенная формула позволяет получать достоверные оценки по величине скорости струи продуктов сгорания.

Литература

1. Шевырин А.Ю., Лебедев А.С. Численные исследования орошения водой струи продуктов сгорания энергоустановок для обеспечения экологической защиты окружающей среды // Тезисы V Международной конференции НЕМ's-2010 (8–10 сентября 2010 г., г. Бийск). Бийск : Изд-во АлтГТУ, 2010. С. 70–73.

DOI: 10.17223/9785946215596/62

NUMERICAL-EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF JET DECELERATION WHILE WATER SPRINKLING

V.V. Lukin, A.S. Lebedev, A.Yu. Shevyrin

Joint Stock Company "Federal Research and Production Center "ALTAI", Biysk

Nowadays, the problem of ensuring of environmental safety, when bench testing, is the urgent one. As experience has shown, water sprinkling of the jet is the most acceptable neutralization method of combustion products, getting into the environment. Water decelerates and cools the jet, keeping the harmful substances on the testing bench.

Study results, obtained while water sprinkling of the small-sized article jet, are given in this report. Places of article and sprinkling machine are presented in Figure.

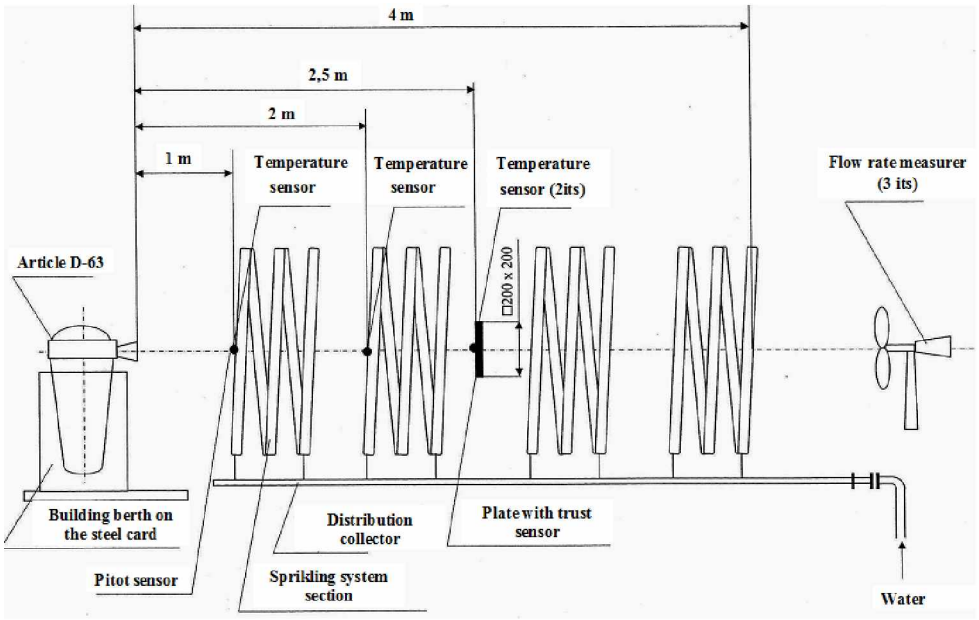


Fig. 1. Installation of the article and sprinkling machine

Sprinkling machine consists of 4 spiral sections. Each of them is made of Ø 16mm metal-plastic tube and placed one after another. Spiral diameter is 1 m, spiral pitch is 0.25 m. Water feed to the jet axis of combustion products is performed through Ø 3mm hole. Total water discharge is 14.5 kg/sec, provided by the pump and controlled by the flowmeter, placed at distribution collector input. Combustion products discharge is about 0.17 kg/sec, nozzle throat diameter is 12 mm, output section – 32mm that made it possible to provide continuous outflow mode.

The following measuring equipment was used when testing:

- Pitot tube, placed on the axis jet at a distance of 1m from the nozzle;
- strain-gage sensor, having an effect upon the 20x20 cm plate at a distance of 2.5 m;
- calibrated sensor “propeller”-type to measure the flow rate on the jet and at a distance of 30 cm from the axis at a distance of 7 m from the nozzle.

The obtained data on flow rate is given in Table. The results of the numerical method, developed before, and based on the control of the combustion products and water particles are also given here [1]. It is obvious that the calculated and experimental parameters have good correspondence.

Table 1

Comparison of experimental and calculated rates of jet, in m/sec

Sensor position	L = 1.0 m		L = 2.5 m		L = 7.0 m	
Sprinkling	Absence	Presence	Absence	Presence	Absence	Presence
Experimental	55-180	96-192	28-53	18-28	12-15.5	5.0
Numerical computation	136	136	35-39	20-30	9.5-14	5-7
Approximate computation	130	130	54	20	20	9.6

To assess the deceleration of the jet with water, the authors suggested the approximate formula, obtained with the usage of momentum conservation law, allowing calculation the average flow rate depending on the longitudinal coordinate and input water mass. As it is seen from the Table, the approximate formula allows obtaining actual assessment of the jet rate of combustion products.

References

1. Shevyrin A.Yu., Lebedev A.S. NUMERICAL INVESTIGATION OF SPRINKLING COMBUSTION PRODUCTS JET OF PROPULSION SYSTEMS WITH WATER TO PROTECT THE ENVIRONMENT - Proceedings of the 5-th International Conference HEMs-2010 (September 8-10, 2010, Biysk). Biysk: AltSTU Press, 2010. P. 70-73.

DOI: 10.17223/9785946215596/63

НОВЫЙ СВАРОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Р.Е. Крюков, Н.А. Козырев, В.Е. Громов, О.А. Семина, Е.В. Зенина
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

Приведено описание исследовательских работ по изучению влияния новых материалов и технологий на качественные характеристики сварных швов металлоконструкций, эксплуатируемых в условиях Крайнего Севера.

Рассмотрены технологические приемы сварки резервуаров северного исполнения с применением флюсов АН-348, АН-60, АН-67 и углеродфторсодержащей добавки.

На основе результатов теоретических исследований об эффективности применения углерода и фторсодержащих соединений при автоматической сварке под флюсом разработана новая флюс-добавка марки ФД-УФС.

Показано положительное влияние применения ФД-УФС на газонасыщенность и механические свойства сварных швов при низких отрицательных температурах.

DOI: 10.17223/9785946215596/63

NEW WELDING MATERIAL FOR MANUFACTURE OF CRITICAL METALWORKS BEING USED AT LOW TEMPERATURES

N.A. Kozyrev, R.E. Kryukov, V.E. Gromov, O.A. Semina, E.V. Zenina
Siberian state industrial university, Novokuznetsk

The description of researches on investigation into the effect of new materials and technologies on qualitative characteristics of metalwork weld seams used in the conditions of the Far North is presented.

The technological procedures of welding of storage tanks for northern climates using fluxes AN-348, AN-60, AN-67 and carbon- and fluorine-containing additions are considered.

Based on the results of theoretical researches on the efficiency of carbon- and fluorine-containing compound application in submerged are welding the new flux-addition of grade FD-UFS was developed.

The positive effect of FD-UFS application on gas saturation and mechanical properties of weld seams at low negative temperatures is shown.

DOI: 10.17223/9785946215596/64

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ЗАРЯД ЧАСТИЦ ПОРОШКА И ИХ СОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ

О.Б. Кудряшова, М.Ю. Степкина

Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск

Существует проблема очистки воздуха и поверхностей в помещениях от вредных, опасных веществ и микроорганизмов. Такая задача возникает в связи с террористическими атаками, а также с возможными авариями на производстве или стихийных бедствий, сопровождающихся вредными аэрозольными выбросами. Кроме того, даже в развитых странах мира остается опасность внутрибольничных инфекций, вызываемых резистентными штаммами микроорганизмов [1].

Один из способов очистки воздуха и поверхностей – это распыление и последующих сбор порошковых наноструктурированных сорбентов [2]. При этом электрический заряд позволяет повысить сорбционную способность порошков [3]. Для сорбции частиц вредного аэрозоля предлагается использовать распыленный электростатическим способом низкоразмерный порошок сорбента, частицы которого в результате такого распыления приобретут электростатический заряд. Заряженные частицы притягивают и собирают на своей поверхности мельчайшие частицы (капли) с противоположным зарядом, либо электронейтральные, из воздуха и с поверхностей помещения.

В работе исследовано изменение физико-химических свойств частиц порошка сорбентов при электростатическом распылении и теоретически описан процесс сорбции частицами заряженного порошка мелких частиц (капель) вредных веществ. В частности:

– предложена математическая модель процесса электростатического взаимодействия частиц заряженного порошка с мельчайшими частицами вредных веществ;

– проведены модельные эксперименты для визуализации данного процесса;

– экспериментально определена величина и знак заряда различных порошков при электростатическом распылении – величина заряда одной частицы составляет около 10^{-17}–10^{-18} Кл, знак заряда в большинстве случаев положительный;

– экспериментально исследовано изменение краевого угла смачивания при зарядке поверхностей.

Показано, что при создании заряда на частицах с помощью электростатического распылителя время сближения частиц составляет десятки минут. Смачиваемость твердой поверхности в большинстве случаев существенно возрастает (краевой угол уменьшается в два и более раз) при наличии электростатического заряда, что важно, если вредный аэрозоль представлен жидкой фазой. Полученные результаты позволяют оценить время сорбции после распыления порошка в среде, содержащей вредные аэрозольные загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант мол_а 16-38-00581).

Литература

1. Klevens RM et al. Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals // Public Health Reports. 2007. V. 122. P. 160-166.
2. Kudryashova O.B., Stepkina M.Yu., Korovina N.V., Antonnikova A.A., Muravlev E.V., Pavlenko A.A. Atomization of Nanopowders for Adsorbtion of Toxic Substances // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015. V. 88, No. 4. P. 833–838. DOI: 10.1007/s10891-015-1258-7.
3. Степкина М.Ю., Кудряшова О.Б., Муравлев Е.В. Использование электрического поля для очистки поверхностей // Ползуновский вестник. 2015. Т. 2, № 4. С. 95–99.

DOI: 10.17223/9785946215596/64

ELECTROSTATIC CHARGE OF POWDER PARTICLES AND THEIR SORPTION CAPACITY

O. Kudryashova, M. Stepkina

Institute for Problems of Chemical & Energetic Technologies of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Biysk

There is a problem of purification of air and surfaces in rooms from harmful, dangerous substances and microorganisms. Such task arises in connection with terrorist attacks, and also with possible accidents on industry or the natural disasters which are followed by harmful aerosol emissions. Besides, even in the developed countries there is a danger of the hospital infections caused by resistant cultures of microorganisms [1].

One of the ways of purification of air and surfaces is a spraying and the subsequent collecting the powder of nanostructured sorbents [2]. Electric charge allows to increase sorption capacity of powders [3]. We offer to use the low-dimensional powder of a sorbent sprayed in the electrostatic way for sorption of a harmful aerosol. Powder particles as a result of such spraying will get an electrostatic charge. Charged particles attract and collect on their surface the smallest particles (droplets) with an opposite charge, or electroneutral, from air and from room surfaces.

We have investigated change of physical properties of powder particles of sorbents at electrostatic spraying and we have theoretically described sorption process by charged particles of small particles (droplets) of harmful substances. In particular:

– the mathematical model of process of electrostatic interaction of the charged particles with the smallest particles of harmful substances is offered;

– model experiments for visualization of this process are made;

– the value and a sign of a charge of various powders at electrostatic spraying is experimentally determined – the value of a charge of one particle is about 10^{-17}-10^{-18} C, the charge sign in most cases is positive;

– the change of a contact angle of wetting at charging of surfaces is experimentally determined.

It is shown that during creation of a charge on particles by means of an electrostatic sprayer the time of closing in of particles is about tens of minutes. Wettability of a solid surface in most cases

significantly increases (the contact corner decreases in two and more times) in the presence of an electrostatic charge. This is important if the harmful aerosol is presented by a liquid phase. The obtained results allow to estimate sorption time after spraying of powder in the environment containing harmful aerosol pollution.

The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (agreement No mol-a 16-38-00581).

References

1. Klevens RM et al. Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals // Public Health Reports. 2007. V. 122. P. 160-166.
2. Kudryashova O.B., Stepkina M.Yu., Korovina N.V., Antonnikova A.A., Muravlev E.V., Pavlenko A.A. Atomization of Nanopowders for Adsorbtion of Toxic Substances // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2015. V. 88, No. 4. P. 833-838. DOI: 10.1007/s10891-015-1258-7.
3. Stepkina M.U., Kudryashova O.B., Muravlev E.V. Use of electric field for cleaning of surfaces // Polzunovskiy Vestnik. 2015. V. 2, No. 4. P. 95-99.

DOI: 10.17223/9785946215596/65

EXPLOSIVE COMPACTION SYNTHESIS OF AN MG_2SI POWDERS

S. Vorozhtsov[1], A. Vorozhtsov[1], A. Averin[2]
[1]*National Research Tomsk State University, Tomsk*
[2]*Federal Research & Production Centre "Altai", Biysk*

In this paper the method of explosive compaction was used for synthesis a powder material Mg_2Si, used for converting thermoelectric energy. A 30-mm layer of TNT explosive (pad) compacted to $\rho = 1.25$ g/cm^3 was poured into a cardboard cup (40 mm in diameter). A tube was positioned onto the pad using a centering cardboard ring. The gap was also fitted with the compacted explosive. The powder Mg_2Si was then placed in a 10-mm diameter aluminum (99.7% Al) tube that was sealed from both sides with aluminum stoppers. The tube with powder mixture was centered by means of a second ring, and then compacted explosive was put into the cup 50 mm above the tube. A standard electric detonator was installed in the middle of this layer at the 20-mm depth. The total mass of explosive was 860 g. The assembly was put into the blast chamber on a metal plate, detonator was connected to initiation circuit, the chamber was closed and the assembly was detonated. It was found that the material has the necessary density and retains a predetermined size. The structure, phase composition and crystal structure parameters of materials Mg_2Si, produced by shock-wave compaction was studied. A metallographic analysis has disclosed that in the material Mg_2Si grains with distinct faces and average size of 15 μm are present on the sample surface. X-ray analysis of materials after explosive compaction, showed that the material mainly contents magnesium silicide phase. Nevertheless it was shown that a material contains small amounts of Si and MgO in free form.

DOI: 10.17223/9785946215596/66

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ И СЕЛЕКТИВНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГАЗОВЫХ СЕНСОРОВ

А.И. Потекаев, В.П. Якубов, Н.К. Максимова, Е.Ю. Севастьянов, С.Э. Шипилов, Г.В. Сакович

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

В рамках линейной модели на основе обработки данных прямых калибровочных измерений полупроводниковых мультсенсоров обосновывается метод их калибровки на стандартных уровнях концентрации газа с целью дальнейшего использования для малых уровней концентрации. На примере данных для диоксида азота путем имитационного моделирования обосновывается возможность повышения чувствительности и селективности мультисенсорной системы на несколько порядков по сравнению с существующими аппаратными методами за счет использования математических методов современной алгебры и теории регуляризации.

Предлагаемый подход к методике определения концентраций газов дает возможность существенно (на 2–3 порядка) повысить чувствительность и селективность газовых мультисенсоров и выйти на концентрации порядка единиц ppt.

DOI: 10.17223/9785946215596/66

INCREASE IN THE SENSITIVITY AND SELECTIVITY OF SEMICONDUCTOR GAS SENSORS

A.I. Potekaev, V.P. Yakubov, N.K. Maksimova, E.Yu. Sevast'yanov, S.É. Shipilov, G.V. Sakovich

National Research Tomsk State University, Tomsk

Within the limits of a linear model based on processing of data of direct calibration measurements with semiconductor multisensors, a method of their calibration by standard levels of gas concentration is substantiated for its subsequent application for small concentration levels. On an example of data for nitrogen dioxide, the notion of the normalized surface density of the gas is introduced, and its relationship with the volume concentration is established. On this basis, the feasibility of increase in the sensitivity and selectivity of the multisensor system by several orders of magnitude compared with the existing instrumental methods is substantiated by imitational modeling using mathematical methods of modern algebra and regularization theory.

Our investigations have allowed us to conclude that the suggested approach to the procedure of determining the concentration of gases will make it possible to increase significantly (by 2–3 orders of magnitude) the sensitivity and selectivity of the gas multisensors and to detect the concentration of the order of several units of ppt.

DOI: 10.17223/9785946215596/67

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ КОРРЕЛЯЦИИ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОГО УГОЛКА ПРИ НЕЦЕНТРОСИММЕТРИЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЕМ

А.И. Потекаев[1], Д.Г. Копаница[2], А.М. Устинов[2], Ю.А. Абзаев[2], А.А. Клопотов[2]

[1]Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

[2]Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск

При длительной эксплуатации содержащих металлические уголки конструкций в них образуется широкий спектр дефектов. Это приводит к изменению механических свойств материала, которые начинают значительно отличаться от исходных значений. В новом состоянии металлические уголки еще обладают некоторым запасом несущей способности. В них механические свойства определяются взаимодействием областей материала с различными дефектами, их количеством в разных структурных элементах продеформированного материала. Сложные профили, которыми обладают металлические уголки, являются сложным объектом для исследований на стадии упругости, пластической деформации и при разрушении материала. В этой связи актуальными являются исследования, направленные на поиск закономерностей в поведении металлических уголков на упругой и закритической стадиях деформирования материала.

Цель данной работы - провести исследования in situ эволюции распределения областей локальной деформации в приповерхностных слоях стальных уголков при не центросимметричной деформации растяжением.

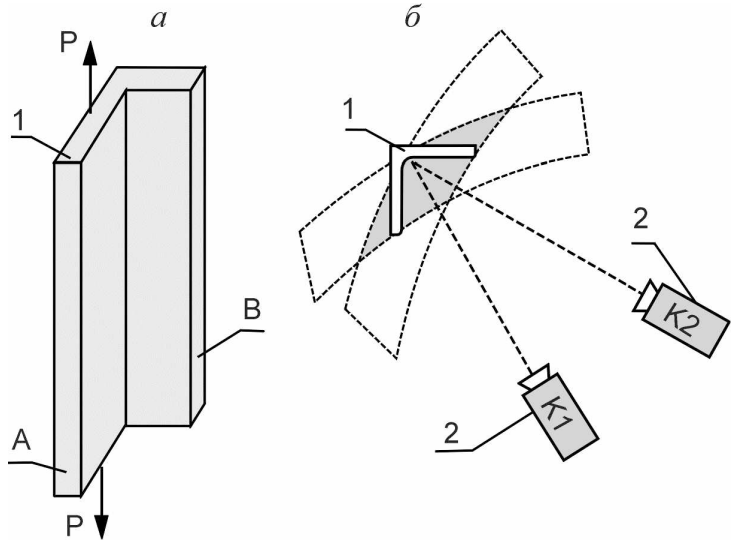


Рис. 1. Схема эксперимента при растяжении: *а* – стальной уголок и схема приложенной нагрузки; *б* – расположение видеокамер. 1 – металлические уголки; 2 – видеокамеры К1 и К2; А – нагружаемая пластина уголка; В – не нагружаемая пластина уголка

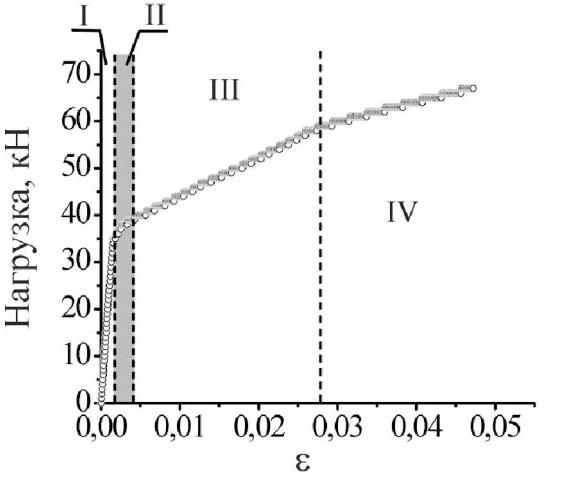


Рис. 2. Диаграмма нагружения стального уголка

В работе представлены результаты экспериментальных исследований, полученные на испытательной машине «INSTRON 3389» с использованием цифровой оптической системы Vic-3D, по определению деформационного состояния приповерхностных слоев стальных уголков при не центросимметричной деформации растяжением. На рис. 1 представлена схема испытаний при деформации растяжением стальных уголков. Поскольку образец имеет не плоскую конфигурацию, причем для получения точных результатов перемещений необходимо получить четкие изображения поверхности образца во время испытания, то это потребовало проведение особой юстировки камер. Для этого исследуемая плоскость располагается в глубине резкости обоих камер (рис. 1, *б*).

Использование цифровой оптической системы Vic-3D и оригинальная юстировки видеокамер позволило установить, что на поверхности образцов в процессе деформации на мезо- и макроуровнях образуются пространственные структурные элементы деформации.

Были получены также деформационные кривые стального уголка, на которых можно выделить четыре характерных стадии (рис. 2).

Стадия I характеризует упругую деформацию. Этот участок очень не большой.

Стадия II является переходной, на которой начинается нелинейный характер изменения функциональной зависимости $P = f(\varepsilon)$.

На стадии III деформационной диаграммы наблюдается линейный характер на зависимости $P = f(\varepsilon)$, причем этот участок упруго-пластической деформации заканчивается на деформации 0.027 при нагрузке 60 кН. Эволюция структурных элементов на стадии III позволяет выделить разный характер распределении на нагружаемой пластине уголка и на ненагружаемой пластине.

Переход от стадии III к стадии VI сопровождается уменьшением коэффициента деформационного упрочнения $\theta = \partial P/\partial \varepsilon$ (рис. 2) при деформации 0.027 и сопровождается качественным изменением характера расположения структурных элементов.

DOI: 10.17223/9785946215596/67

APLLICATION OF DIGITAL IMAGES CORRELATION METHOD FOR AN EXPERIMENTAL STUDY OF A STEEL ANGLE SURFACE IN A DEFORMED STATE UNDER A NONCENTROSYMMETRIC TENSILE DEFORMATION

A.I. Potekaev[2], D.G. Kopanitsa[1], A.M. Ustinov[1], Y.A. Abzaev[1], A.A. Klopotov[1, 2]

[1] *Tomsk State University for Architecture and Building, Tomsk*

[2] *National Research Tomsk State University, Tomsk*

A wide specter of deformation occurs after a long operation of constructions that contain steel angles. This leads to the major change in mechanical parameters of a material in comparison to the initial state of the construction. However, steel angle provide a margin of carrying capacity in this new state where the mechanical parameters are defined by an interaction of the material with various defects in different structural elements of the deformed material.

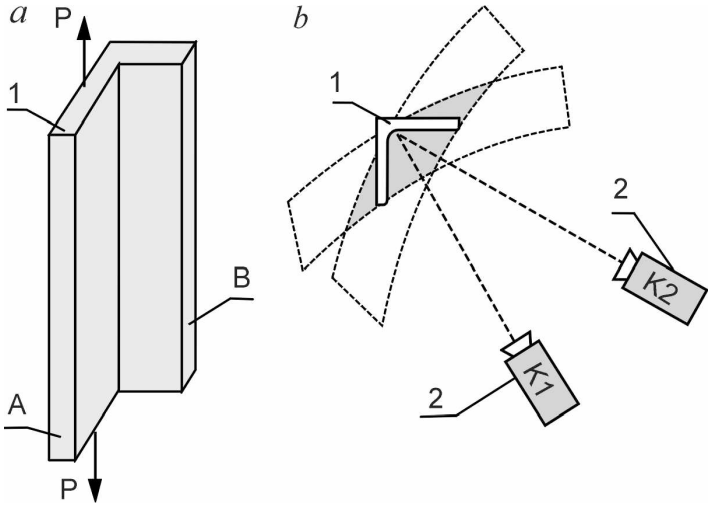


Fig. 1. Experimental scheme: *a* – steel angle and a load direction; *b* – camera positions. 1 – steel angles; 2 – Cameras K1 and K2; A – loaded plate; B – not loaded plate

Complex profiles of steel angles are a hard to study on the elastic, plastic and destruction phases. This makes important the studies that investigate regularities in the behavior of steel angles on elastic and super-critical phases of deformations

The goal of this research is to study in situ evolution of distribution of local deformation regions in the near to surface layers under a noncentrosymmetric tensile deformation

The paper presents the results of experimental study using a «INSTRON 3389» test bed together with a digital optical system Vic-3D to investigate in situ evolution of distribution of local deformation regions in the near to surface layers under a noncentrosymmetric tensile deformation.

DOI: 10.17223/9785946215596/68

РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРЯЖЕННОГО КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССООБМЕНА

В.Д. Гольдин, В.И. Лаева

НИИ прикладной математики и механики, г. Томск

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

При проектировании энергетических установок различного типа часто требуется рассчитывать тепловое состояние твёрдых тел, обтекаемых потоком горячего газа. В случае, когда температура обтекаемого тела существенно меняется вдоль его поверхности, возникает необходимость определять процесс распространения тепла в нём одновременно с расчётом поля течения. Если течение является устойчивым относительно возмущений температуры, а характерное гидродинамическое время много меньше времени распространения тепловой волны, поле течения можно определять из стационарных уравнений, а тепловое поле в теле - из нестационарных.

В работе предлагается оригинальный алгоритм численного решения подобных задач. В качестве примера рассматривается задача об обтекании пластины потоком газа при наличии вдува с её поверхности. Поле течения определяется из уравнений пограничного слоя. Значение теплового потока на поверхности тела выражается в виде оператора от распределения температуры поверхности вверх по потоку. Полученный оператор является обобщением коэффициента теплообмена. Если течение не зависит от температуры, то этот оператор является линейным и может быть вычислен один раз за всё время расчёта. При наличии влияния температуры на течение при решении приходится применять линеаризацию оператора, а тепловой поток представлять в зависимости от возмущений температуры поверхности и массовой скорости вдуваемого газа. Линейный оператор определяется в процессе прямого этапа векторной прогонки, осуществляемой от внешней границы пограничного слоя до обтекаемой поверхности. В настоящей работе для его получения используется метод И.В. Петухова, имеющий 4-й порядок аппроксимации по нормальной к телу координате. Полученные выражения для теплового потока можно использовать как граничные условия для нестационарного уравнения распространения тепла в твёрдом теле.

Результаты расчётов показывают, что используемый подход существенно уточняет температуру обтекаемого тела. В случае, если тело состоит из материалов с различными теплофизическими характеристиками, рассчитанные значения температуры могут отличаться в несколько раз по сравнению с традиционным подходом.

Работа выполнена в соответствии с госзаданием № 9.1024.2014/к Минобрнауки РФ.

DOI: 10.17223/9785946215596/68

CALCULATION OF CHARACTERISTICS OF CONVECTIVE HEAT AND MASS EXCHANGE

V.D. Goldin, V.I. Laeva
Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Tomsk
National Research Tomsk State University, Tomsk

In the designing of energy plants of various types it is often need to calculate the thermal state of solid bodies which streamlined flow of hot gas. In the case where the temperature varies significantly along the body surface, it's necessary to calculate the process of heat propagation in it together with the calculation of the flow field. If the characteristic hydrodynamic time much less than time of thermal diffusion but the flow is stable with respect to perturbations of surface temperature, the flow field can be determined from the steady-state equations but the temperature in the body - from the non-stationary equations.

We propose an original algorithm for the numerical solution of such problems. As an example, consider the problem of flow around a plate of gas flow in the presence of gas blowing from its surface. The flow field is determined by solving the boundary layer equations. The value of the heat flux at the surface of the body is expressed as an operator of the surface temperature distribution of the upstream. This operator is a generalization of the heat exchange coefficient. If the flow does not depend on the temperature, such operator is linear and it can be determined once for all the time of calculations. If temperature affects the flow field then in calculations one should apply linearization of the operator, and the heat flux will be depended on perturbations of the surface temperature and the mass velocity of the injected gas. The operator is calculated at first stage of vector sweep method (tridiagonal matrix algorithm) which carried out from the outer limit of the boundary layer to the streamlined surface. For these calculations we used the finite difference scheme having a 4th order of approximation on the normal to the body coordinate (method by I.V.Petukhov). The resulting expression for the heat flux can be used as boundary conditions for the non-stationary equation of heat propagation in the body.

The calculation results show that the presented method gives more accurate values of the body temperature. If the body is made of materials with different thermal characteristics, the calculated temperature values can differ by several times compared to the traditional approach.

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: project No. 9. 1024. 2014/k.

DOI: 10.17223/9785946215596/69

ПОЛУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОГО КОМПЛЕКСА [1,2,5]ОКСАДИАЗОЛО[3,4-E][1,2,3,4]-ТЕТРАЗИН-4,6-ДИ-N-ОКСИДА С 2,4-ДИНИТРО-2,4-ДИАЗАПЕНТАНОМ ИЗ РАСТВОРА

Н.И. Люкшенко, П.И. Калмыков, В.Н. Попок

АО «Федеральный научно-производственный центр «Алтай», г. Бийск

1,2,3,4-Тетразин-1,3-диоксиды были получены сравнительно недавно. Одним из их ярких представителей является [1,2,5]оксадиазоло[3,4-e][1,2,3,4]-тетразин-4,6-ди-N-оксид (продукт FTDO), обладающий уникальными энергетическими характеристиками: высокими значениями энтальпии образования, кислородного баланса (α = – 10,25%), плотности монокристалла (ρ = 1,84г/см^3), относительно высокой (по данным термического анализа) температурой плавления ($T_{пл}$ = 110…114 °C) [1–4]. Однако такие проблемы, как высокая чувствительность к механическим воздействиям, низкая термическая стойкость, неустойчивость горения (переход во взрыв и детонацию), высокая химическая активность в смесях, вплоть до несовместимости, склонность к образованию молекулярных комплексов с соединениями различных классов – ограничивают его применение и требуют приемлемого решения. В качестве последнего предлагается использовать молекулярные комплексы с низкой температурой плавления на основе FTDO и 2,4-динитро-2,4-диазапентаном (продукт ДНП) [5]. Из литературных данных известно, что такие молекулярные комплексы имеют относительно невысокую чувствительность к механическим и тепловым воздействиям и низкую склонность к детонации по сравнению с соединением FTDO, легко образуются из расплава или раствора компонентов в удаляемом растворителе (т.е. с последующей отгонкой растворителя). По данным ДСК (ДТА), его $T_{пл}$ = 60…62 °C в зависимости от скорости нагрева. Однако при образовании молекулярного комплекса FTDO – ДНП при температуре, выше его температуры плавления или близкой к ней, он разрушается с испарением части FTDO [6].

В этой связи актуальна разработка технологии получения молекулярного комплекса FTDO–ДНП в растворе при относительно низких температурах, что позволит исключить разрушение FTDO, его испарение и образование примесей.

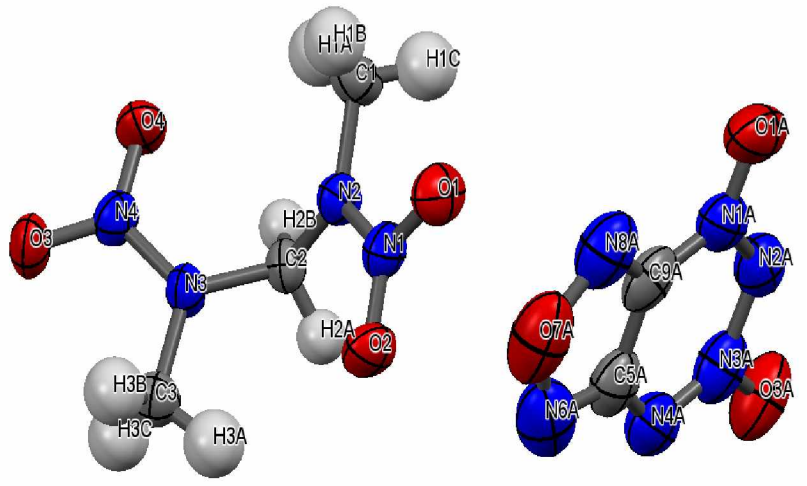
Растворитель	Растворимость ФТДО при 20°C, % масс.
Дихлорэтан	18
Метиленхлорид	28
Тетрахлорметан	17
Хлороформ	23
Гексан	0,1

Правильно выбрать растворители для получения комплекса невозможно без знаний о поведении ФТДО в органических растворителях различной природы. Из литературных данных известно, что растворимость ФТДО при 20 °C варьируется от 0,01…0,10% в неполярных рас-

творителях (гексан, тетрахлорметан) до 40…70 % в полярных (ДМСО, спирт, вода и т.д.) (см. таблицу). Так как за счет характерной окраски соединения его растворы имеют желтый или оранжевый цвет, его изменения часто указывают на взаимодействие со средой, в которой растворен продукт.

Для изучения поведения FTDO, ДНП и получения комплекса были выбраны органический растворитель метиленхлорид, хлороформ и гексан (так как ДНП также хорошо растворим в них). На первом этапе мы изучили растворимость FTDO – ДНП в каждом растворителе в мольном соотношении 1:1. Попытки высадить комплекс гексаном (растворимость FTDO и ДНП 0,1% масс.) после полного растворения FTDO и ДНП в хлористом метилене оказались неудачными, конечные результаты показали наличие кристаллов FTDO и ДНП. При растворении в смеси метиленхлорид – хлороформ высаживание комплекса идет в полном объеме и со 100%-м выходом. Немалую роль при его образовании играет температурный режим, так, максимальный выход достигался при T = 10…15°C. В результате была разработана технология получения молекулярного комплекса FTDO – ДНП осаждением из раствора FTDO и ДНП в эквимолярном соотношении компонентов в смеси полярных галогенопроизводных апротонных растворителей. Затем раствор компонентов смешивают с неполярным углеводородным осадителем. Особенность заключается в том, что раствор FTDO получают с использованием смеси полярных галогенопроизводных апротонных растворителей, в него добавляют ДНП, перемешивают при T=11…15 °C и затем приливают неполярный углеводородный осадитель.

Таким образом был выделен молекулярный комплекс фуразано[3,4-e]тетразин-4,6-диоксид – 2,4-динитро-2,4-диазапентан (1:1 мольн.), изучение его кристаллической структуры рентгенодифракционным методом показало, что она полностью соответствует опубликованной в литературе [7].



Литература

1. Churakov A.M., Ioffe S.L., Tartakovskii V. A. Syntesis of [1,2,5]-oxadiazolo-[3,4-e]-[1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-oxide // Mend.Comm. 1995. № 6. P. 227–228.

2. Dong L. L., Zhang G. Q., Chi Y. et al. Synthesis of Furazano-[3,4-e]-1,2,3,4-tetrazin-1,3-dioxide.
3. Киселев В.Г., Грицан Н.П., Зарко В.Е. и др. Расчет энтальпии образования [1,2,5]-оксадиазоло-[3,4-e]-[1,2,3,4]-тетразин-4,6-ди-N-оксида с использованием современных многоуровневых квантово-химических методов // Физика горения и взрыва. 2007. Т. 43, № 5. С. 77–81.
4. Kameron R., Jorgensen B.S. Thermochemistry Investigations via the Correlation Consistent Composite Approach: Dissertation of Doctor of Philosophy. University of North Texas, 2012.
5. Симоненко В.Н., Калмыков П.И., Кискин А.Б. и др. Исследование горения модельных композиций на основе фуразанотетразиндиоксида и динитразапентана. I. Бинарные системы // Физика горения и взрыва. 2009. Т. 50, № 3. С. 68–70.
6. Попок В.Н., Люкшенко Н.И. Свойства и устойчивость фуразан-1,2,3,4-тетразин-1,3-диоксида и сокристаллизатов на его основе // Бутлеровские сообщения. 2014. Т. 39, № 10. С. 135–147.
7. Жарков А.С., Калмыков П.И., Бурцев Ю.Н. и др. Фазовые равновесия и структурно-фазовые превращения в системе фуразано[3,4-e]тетразин-4,6-диоксид-2,4-динитро-2,4-диазапентан // Известия АН. Сер. химическая. 2014. № 8. С. 1807–1814.

DOI: 10.17223/9785946215596/69

OBTAINING THE MOLECULAR COMPLEX [1,2,5]OXADIAZOLE[3,4-E][1,2,3,4]-TETRAZINE-4,6-DI-N-OXIDE WITH 2,4-DINITRO-2,4-DIAZAPENTANE FROM THE SOLUTION

N.I. Lutsenko, P.I. Kalmykov, V.N. Popok
JSC "Federal research and production center "Altai", Biysk

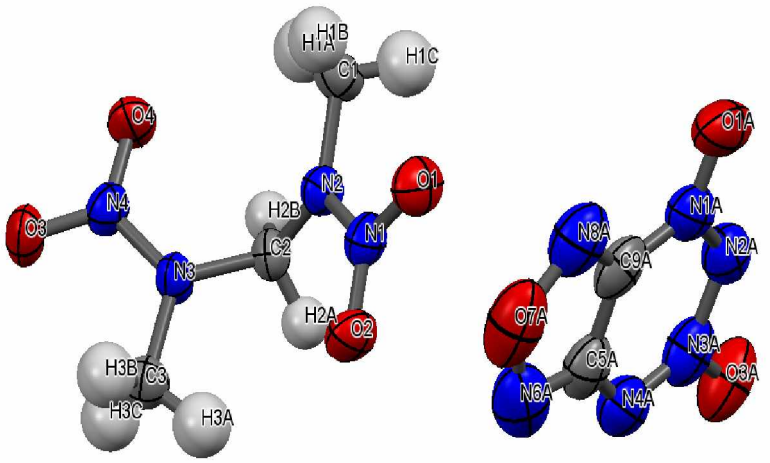
1,2,3,4-Tetrazine-1,3-dioxides were obtained relatively recently. One of their brightest representatives of is [1,2,5]oxadiazole[3,4-e][1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-oxide (FTDO product) with unique power characteristics: high values of enthalpy of formation, oxygen balance (α = – of 10.25%), the density of the single crystal (ρ = 1.84 g/cm3), relatively high (according to thermal analysis) melting point (TM = 110...114°C) [1–4]. However, issues such as high sensitivity to mechanical stress, low thermal resistance, instability of the combustion (explosion and transition to detonation), high chemical activity in mixtures, up to incompatibility, the tendency to form molecular complexes with compounds of different classes – limit its use and require an acceptable solution. As the latter is proposed to use molecular complexes with low melting point on the basis of FTDO and 2,4-dinitro-2,4-diazapentane (product DNP) [5]. From literature data it is known that such molecular complexes have a relatively low sensitivity to mechanical and thermal influences and a low tendency to detonation in comparison with the compound FTDO, are easily formed from a melt or solution of the components in the removed solvent (i.e., followed by Stripping of solvent). According to the DSC (DTA), its TM = 60...62 °C depending on the heating rate. However, during the formation of the molecular complex FTDO – DNP at a temperature above its melting point or close to it, it is destroyed by evaporation of the FTDO [6].

In this connection development of technology of receiving molecular complex FTDO–DNP in solution at relatively low temperatures, which will eliminate the destruction FTDO, its evaporation and the formation of impurities.

To choose the right solvent to obtain a complex is impossible without knowledge about the behavior of FTDO in organic solvents of different nature. From literature data it is known that the solubility of FTDA at 20°C varies from 0.01...0.10 percent in non-polar solvents (hexane, carbon tetrachloride) up to 40...70 % in polar (DMSO, alcohol, water, etc.) (see table). As due to the characteristic color of the coupling of the solutions are yellow or orange color, it changes often indicate interaction with the environment in which the product dissolved.

The solvent	The solubility of FTDA at 20°C, % wt.
Dichloroethane	18
Methylene chloride	28
Carbon tetrachloride	17
Chloroform	23
Hexane	0,1

To study the behavior of FTDO, DNP and receive complex were selected as the organic solvent methylene chloride, chloroform, and hexane. (since DNP is also well soluble in them). In the first stage we have studied the solubility of FTDO – DNP in each solvent in a molar ratio of 1:1. Attempts to land the complex with hexane (solubility FTDO and DNP 0,1% wt.) after complete dissolution of FTDO and DNP in the methylene chloride was unsuccessful, the final results showed the presence of crystals FTDO and DNP. When dissolved in a mixture of methylene chloride – chloroform planting complex is in full swing and with 100% output. A significant role in its formation plays a temperature, so that maximum output was achieved at T = 10...15 °C. the result was developed the technology of receiving molecular complex FTDO – DNP deposition from solution FTDO and DNP in equimolar ratio in a mixture of polar aprotic solvents halogenated derivatives. Then the solution component mixed with a non-polar hydrocarbon precipitant. The peculiarity lies in the fact that the solution FTDO get using a mixture of polar aprotic solvents halogenated derivatives, it is added NAM, was stirred at T =11...15 °C and then pour the nonpolar hydrocarbon precipitator.



Thus was isolated molecular complex furazane[3,4-e]tetrazine-4,6-dioxide – 2,4-dinitro-2,4-diazapentane (1:1 meaulnes.), the study of its crystal structure by x-ray diffraction method showed that it is fully consistent with published literature [7].

References

1. Churakov A.M., Ioffe S.L., Tartakovskii V.A. Syntesis of [1,2,5]-oxadiazolo-[3,4-e]-[1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-oxide. *Mend.Comm*. 1995. No. 6. P. 227–228.
2. Dong L.L., Zhang G.Q., Chi Y. et al. Synthesis of Furazano-[3,4-e]-1,2,3,4-tetrazin-1,3-dioxide.
3. Kiselev V.G., Gritsan N.P., Zarko V.E., etc. to Calculate the enthalpy of formation of [1,2,5]-oxadiazole-[3,4-e]-[1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-N-oxide with use of modern multi-level quantum chemical methods. *Physics of combustion and explosion*. 2007. V. 43, No. 5. P. 77–81.
4. Kameron R., Jorgensen B.S. Thermochemistry Investigations via the Correlation Consistent Composite Approach. *Dissertation of Doctor of Philosophy. University of North Texas. 2012.*

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

К читателю 5

Секция 1 / 1st Session

Edward L. Dreizin. Mechanochemically prepared reactive and energetic materials 9

Сысолятин С.В., Паромов А.Э. Синтез производных оксаазаизовюрцитана 9
Sysolyatin S.V., Paromov A.E. Synthesis of oxaazaisowurtzitane derivatives 12

Hervé Graindorge. Synthesis, properties of AlH3 for space propulsion 14

Жарков А.С., Анисимов И.И., Литвинов А.В., Чащихин Е.А., Карманов Н.М., Коваленко Г.П.
Перспективные направления модернизации твердотопливных элементов ДУ 14
Zharkov A.S., Anisimov I.I., Litvinov A.V., Chashchikhin E.A., Karmanov N.M., Kovalenko G.P.
Advanced directions to update the solid propellant elements of PS 17

Gilles Gonthier. New solutions for fuse and circuit breakers 19

Amrousse R., Katsumi T., Hori K. Successful research and development
of hydroxylammonium nitrate thruster 19

Теплов Г.В., Бычин Н.В., Пивоваров Ю.А., Попок В.Н. Синтез и свойства кристаллов
циклических нитраминов с включениями металлических частиц 21
Teplov G.V., Bychin N.V., Pivovarov Y.A., Popok V.N. Synthesis and properties of cyclic
nitramines crystals with metallic particle inclusions 22

Муравьев Н.В., Брагин А.А., Моногаров К.А., Никифорова А.С., Фоменков И.В., Пивкина А.Н.
Термическая стабильность и параметры горения нитропиразолов 23
Muravyev N.V., Bragin A.A., Monogarov K.A., Nikiforova A.C., Fomenkov I.V., Pivkina A.N.
5-AMINO-3,4-DINITROPYRAZOLE: thermal stability and combustion 24

Colin Pulham. Exploring structure-property relationships in energetic materials using extreme
conditions and crystal engineering 24

Крылова С.Г., Поветьева Т.Н., Зуева Е.П., Амосова Е.Н., Разина Т.Г., Рыбалкина О.Ю.,
Лопатина К.А., Суслов Н.И., Нестерова Ю.В., Сысолятин С.В., Калашников А.И.,
Малыхин В.В., Дыгай А.М., Жданов В.В., Ворожцов А.Б., Жуков А.С. Производные
гексаазаизовюрцитана в качестве потенциальных источников новых лекарственных
средств 25
Krylova S.G., Povet'eva T.N., Zueva E.P., Amosova E.N., Razina T.G., Rybalkina O.Yu., Lopatina K.A.,
Suslov N.I., Nesterova Yu.V., Afanas'eva O.G., Sysolyatin S.V., Kalashnikov A.I., Malykhin V.V.,
Dygai A.M., Zhdanov V.V., Vorozhtsov A.B., Zhukov A.S.
Derivatives of hexaazaisowurtzitane as potential sources of new remedies 29

Ворожцов А.Б., Дьяченко Н.Н., Л. Де Лука. Исследование течения продуктов сгорания
алюминизированного топлива в сопле ракетного двигателя 30
Vorozhtsov A.B., D'yachenko N.N., L. De Luca. Studying the flow of aluminized fuel
combustion products in a rocket engine nozzle 31

Адуев Б.П., Нурмухаметов Д.Р., Лисков И.Ю., Звеков А.А., Никитин А.П. Особенности лазерного инициирования композитов тэна с включениями ультрадисперсных частиц металлов 31
Aduev B.P., Nurmukhametov D.R., Liskov I.Yu., Zvekov A.A., Nikitin A.P. Features laser initiation of PETN composites with inclusions of ultrafine metal particles 33

Киселев В.Г., Муравьев Н.В., Моногаров К.А., Пивкина А.Н. Термохимия и механизмы термолиза энергетических материалов по данным высокоточных квантовохимических расчетов и экспериментальных методов термического анализа 35
Kiselev V.G., Muravyev N.V., Monogarov K.A., Pivkina A.N. Interplay of highly accurate quantum chemical computations and thermal analysis techniques in the study of thermochemistry and decomposition mechanisms of energetic materials 35

Секция 2 / 2nd Session

J.A. Chemelle, C. Alliod, G. Jacob, R. Terreux. Prediction of regulation toxicological tests applied to high energy molecules 39

Долгобородов А.Ю., Шевченко А.А., Кириленко В.Г., Бражников М.А. Механохимический способ повышения детонационной способности алюминизированных взрывчатых составов 40
Dolgoborodov A.Yu., Shevchenko A.A., Kirilenko V.G., Brazhnikov M.A. Mechanochemical method of increasing the detonation ability of aluminized explosive compositions 41

Guy Jacob. Structure/properties relationships of energetic solid compounds: impact of crystallization 42

Карих В.П., Литвинов А.В., Митин А.Г., Скоков А.А. Результаты разработки и внедрения средств рентгеновской компьютерной томографии для неразрушающего контроля изделий из высокоэнергетических материалов 43
Karikh V.P., Litvinov A.V., Mitin A.G., Skokov A.A. Results of development and implementation of x-ray computed tomography means for non-destructive testing of articles from high-energy materials 44

Глотов О.Г., Суродин Г.С., Житницкая О.Н. Горение модельных агломератов из алюминия и бора при свободном падении в воздухе 45
Glotov O.G., Surodin G.S., Zhitnitzkaya O.N. Combustion of aluminum and boron model agglomerates free falling in air 47

Звегинцев В.И., Аульченко С.М., Лукашевич С.В., Наливайченко Д.Г. Методика расчетно-экспериментальных исследований характеристик горения твердых топлив в высокоскоростном потоке воздуха 49
Zvegintsev V.I., Aulchenko S.M., Lukashevich S.V., Nalivaychenko D.G. The method of experimental and computational studies of solid fuels combustion in a high speed air flow 51

Баққара А.Е., Садыков Б.С., Турсынбек С., Любчик С.Б., Казаков Ю.В., Мофа Н.Н., Мансуров З.А. Термогазогенератор на основе нитрата аммония для обработки нефтяных скважин 53
Bakkara A., Sadykov B., Tursynbek S., Lyubchyk S., Kazakov Yu., Mofa N., Mansurov Z. Thermogenerator on the basis of ammonium nitrate for processing of oil wells 54

Садыков Б.С., Мофа Н.Н., Галфетти Л., Мансуров З.А. Влияние механохимической активации и модифицирования алюминия на технологическое горение конденсированных систем 55

Sadykov B.S., Mofa N.N., Galfetti L., Mansurov Z.A. The effect of mechanochemical activation and modification of aluminium on technological combustion of condensed systems 56

Adam Cumming. Dual use – novel approaches for energetic materials technology 58

Мостовщиков А.В., Ильин А.П., Громов А.М. Применение высокоэнергетических воздействий для увеличения удельного теплового эффекта окисления нанопорошка алюминия 59
Mostovshchikov A.V., Ilyin A.P., Gromov A.M. The application of high-energy radiations on the aluminum nanopowder for increasing the thermal effect of oxidation 59

Ильин А.П., Роот Л.О., Шинкевич Е.В., Кривошеина В.В., Котина Р.Е., Громов А.М. Реакционная способность воздуха в условиях горения при высоких температурах 60
Ilyin A.P., Root L.O., Shinkevich E.V., Krivosheina V.V., Kotina R.E., Gromov A.M. Reactivity of air in the combustion process at high temperatures 61

Toshiyuki Katsumi. Feasibility study on laser ignition of han-based monopropellant 62

Архипов В.А., Бондарчук С.С., Ворожцов А.Б., Жуков А.С., Золоторев Н.Н., Певченко Б.В., Савельева Л.А. Оптимизация твердотопливного заряда гибридного ракетного двигателя 63
Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Vorozhtsov A.B., Zhukov A.S., Zolotorev N.N., Petchenko B.V., Savelieva L.A. Optimization of hybrid solid-propellant charge of the rocket engine 64

Архипов В.А., Зарко В.Е., Золоторев Н.Н., Коротких А.Г., Кузнецов В.Т. Динамические режимы зажигания пироксилина 65
Arkhipov V.A., Zarko V.E., Zolotorev N.N., Korotkikh A.G., Kuznetsov V.T. Dynamic regime of ignition of gun-cotton 65

Литвинов А.В., Курбатов А.В., Аксененко Д.Д., Михальцов В.Ю., Ваулин Д.И., Жаринов В.Б., Архипов В.А., Жарова И.К. Экспериментальные установки для исследования горения высокоэнергетических материалов в высокоскоростных воздушных потоках 67
Litvinov A.V., Kurbatov A.V., Aksyonenko D.D., Mikhaltsov V.Yu., Vaulin D.I., Zharinov V.B., Arkhipov V.A., Zharova I.K. Experimental facilities to study the burning of high-energy materials in high-speed airflow 71

Люкшенко Н.И., Полящук В.В., Никитин Р.Г. Получение полимерной композиции, содержащей 3-метакрилоксисульфолан, для нанесения на хирургические эндопротезы и нерассасывающиеся полимерные нити в виде нано- и ультратонких волокон, для реконструктивно-восстановительной хирургии 75
Lutsenko N.I., Polasek V.V., Nikitin R.G. Obtaining polymer compositions containing 3-methacryloxysulfolane, for application to surgical implants and non-resorbable polymer filaments in the form of nano - and ultrafine fibers for reconstructive surgery 77

Жарков А.С., Литвинов А.В., Анисимов И.И., Чащихин Е.А., Степанов В.И., Поддьякова Л.С. Особенности деформирования и формоизменения топливных элементов при эксплуатационном нагружении изделий РКТ 80
Zharkov A.S., Litvinov A.V., Anisimov I.I., Chashchikhin E.A., Stepanov V.I., Podd'yakova L.S. Features of deformation and form-transformation of fuel elements at operational loading of space-rocket hardware (srh) ITEMS 83

Секция 3 / 3rd Session

Грузнов В.М., Балдин М.Н., Прямов М.В. Газохроматографическое определение следов маркеров пластических взрывчатых веществ 89

Gruznov V.M., Baldin M.N., Pryamov M.V. Gas chromatographic determination of marking substances added to industrial plastic explosives 92

Ильясов С.Г., Ахмадеев И.Р., Павленко И.Р., Тильзо М.В., Чикина М.В., Коровина Н.В. Изучение способности наносорбентов адсорбировать токсичные вещества 95
Il'yasov S.G., Akhmadeev I.R., Pavlenko A.A., Til'zo M.V., Chikina M.V., Korovina N.V. Study into the capability of nanosorbents to adsorb toxic agents 96

Страхов В.Л., Гаращенко А.Н., Кульков А.А. Огнезащита конструкций атомных электростанций при воздействии водородного факела 97
Strakhov V.L., Garashchenko A.N., Kulkov A.A Fire protection of nuclear power plant constructions under attacking hydrogen torch 99

Потекаев А.И., Ворожцов А.Б., Якубов В.П., Светличный В.А., Сакович Г.В. Перспективы создания пассивной адаптивной мультисенсорной системы обнаружения экологических угроз 101

Наумов Д.А., Блинов В.И., Мелешко В.Ю., Ларин В.Г., Грек В.О. Способ повышения защиты взрывоопасных объектов от воздействия кумулятивных боеприпасов 101
Naumov D.A., Blinov V.I., Meleshko V.I., Larin V.G., Grek V.O. Way to improve the protection of explosive objects from the fluence of cumulative munitions 103

Бобровников С.М., Горлов Е.В., Жарков В.И. УФ СКР ЛИДАР для обнаружения следов высокоэнергетических материалов 104
Bobrovnikov S., Gorlov E., Zharkov V. UV RAMAN LIDAR for the detection of traces of high energetic materials 106

Титов С.С., Мецлер Э.А., Павленко А.А., Архипов В.А. Разработка методики определения динамики средних размеров частиц субмикронных аэрозольных сред в быстро протекающих и установившихся процессах 107
Titov S.S., Metsler E.A., Pavlenko A.A., Arkhipov V.A. Developing a dynamics measurement procedure of mean particle sizes of submicron aerosols in fast and steady-state processes 109

Секция 4 / 4th Session

Жарков А.С., Певченко Б.В., Пилюгин Л.А., Никитин Р.Г., Ворожцов А.Б. Разработка компактного низкотемпературного газогенератора на основе безазидного состава для наддува эластичных оболочек средств аварийного спасения людей 113
Zharkov A.S., Pevchenko B.V., Pilyugin L.A., Nikitin R.G., Vorozhtsov A.B. Development of compact low-temperature gas generator based on azide-free composition for the inflation of elastic bags to rescue people in accidents 114

Uwe Schaller, Thomas Keicher, Horst Krause, Stefan Loebbecke. Investigation of nitrate based energetic ionic liquids as plasticizers 115

Королев С.А., Русяк И.Г., Тененев В.А. Разработка подходов к решению обратной задачи внешней баллистикив различных условиях применения 116
Korolev S.A., Rusyak I.G., Tenenev V.A. Development of approaches to solution of inverse problem of external ballistics in different using conditions 118

S. Knapp, A. Koleczko, S. Kelzenberg, E. Roth, A. Raab, V. Weiser. Emission spectroscopy on pyrotechnic mixtures 120

Романов Д.А., Громов В.Е. Наноструктурные электроэрозионностойкие покрытия, полученные методом электровзрывного напыления 121

Romanov A.D., Gromov V.E. Nanostructure coatings resistant to electroerosion obtained by electroexplosive spraying 123

Моногаров К.А., Пивкина А.Н., Муравьев Н.В., Брагин А.А., Фролов Ю.В., Дильян Д. Разрушение деталей спутников, отработавших на околоземной орбите 125
Monogarov K.A., Pivkina A.N., Muravyev N.V., Bragin A.A., Frolov Yu.V., Dilhan D. Uncontrolled re-entry of satellite parts after its mission on leo: destruction by thermite reaction energy release 126

Christelle Collet. Method for determining explosive reaction rate parameters 127

Наумов Д.А., Блинов В.И., Мелешко В.Ю., Ларин В.Г., Грек В.О. Методика оценки параметров взаимодействия кумулятивной струи с материалами многокомпонентной преграды 127
Naumov D.A., Meleshko V.I., Blinov V.I., Larin V.G., Grek V.O. Technique of the estimation parameters interaction of the cumulative stream with materials of the multicomponent barrier 129

Стендовая секция / Poster session

Литвинов А.В., Курбатов А.В., Нестеров Г.Н., Воробьев А.К. Конструкции изделий для энергетических установок повышенной эффективности с неизвлекаемыми формообразующими элементами 133
Litvinov A.V., Kurbatov A.V., Nesterov G.N., Vorobyov A.K. Product designs for power plants of improved performance with nonremovable shape elements 134

Промахов В.В., Жуков И.А., Ворожцов С.А., Зиатдинов М.Х., Дубкова Я.А. Закономерности безгазового горения системы Al-Ti-B 135
Promakhov V.V., Zhukov I.A., Vorozhtsov S.A., Ziatdinov M.Kh., Dubkova Ya.A. Gas-free combustion regularities of Al-Ti-B system 135

Архипов В.А., Жарова И.К., Козлов Е.А. Горение твердых ракетных топлив в высокоскоростном потоке газа 136
Arkhipov V.A., Zharova I.K., Kozlov E.A. Combustion of solid rocket propellants in a high speed gas flow 136

Архипов В.А., Бондарчук С.С., Коноваленко А.И., Перфильева К.Г. Влияние свободного объема камеры сгорания на устойчивость работы РДТТ активно-реактивного снаряда 137
Arkhipov V.A., Bondarchuk S.S., Konovalenko A.I., Perfilieva K.G. Influence of free volume for combustion chamber stability of work solid propellant rocket-assisted projectile 138

Архипов В.А., Ворожцов А.Б., Жуков А.С. Проблемы и перспективы использования нанопорошков алюминия в составе ВЭМ 138
Arkhipov V.A., Vorozhtsov A.B., Zhukov A.S. Problems and future directions of aluminum nanopowders use as HEMs components 139

Жуков И.А., Промахов В.В., Зиатдинов М.Х., Жуков А.С., Дубкова Я.А. Разработка порошковых композиций ВЭМ с высокой скоростью горения 140
Zhukov I., Promakhov V., Ziatdinov M., Zhukov A., Dubkova Y. Development of powder HEM compositions with high burning rate 141

Митин А.Г., Филиппов В.П., Цой Л.Д. Адаптивное сглаживание результатов стендовых измерений параметров ЭУ 142
Mitin A.G., Filippov V.P., Tsoy L.D. Adaptive smoothing of the results of SPRM test-bench characteristics 142

Коротких А.Г., Архипов В.А., Глотов О.Г., Зарко В.Е. Особенности зажигания и горения ВЭМ с биметаллическими порошками 143
Korotkikh A., Arkhipov V., Glotov O., Zarko V. Features of ignition and combustion of HEMs with bimetal powders 144

Анисимов И.И., Тучков Р.В., Щемелинин А.В., Загородников Р.А. Влияние вибрационных нагрузок на деформирование и разрушение многофракционных высоконаполненных композитных материалов 145
Anisimov I.I., Tuchkov R.V., Shchemelinin A.V., Zagorodnikov R.A. Influence of vibration strains on deformation and failure of multi-fractional highly filled composite materials 147

Порязов В.А., Крайнов А.Ю. Математическое моделирование горения пороха Н с добавлением порошка алюминия в поле массовых сил 150
Poryazov V.A., Krainov A.Yu. Mathematical modeling of combustion of N powder with micron-sized aluminum in the force field 151

Загородников Р.А., Анисимов И.И. Моделирование процессов оптимизации структуры и механических свойств высоконаполненных композитов для изделий РКТ 152
Zagorodnikov R.A., Anisimov I.I. Modeling of structure optimization processes and mechanical properties of highly filled composites for RC articles 156

Бобровников С.М., Ворожцов А.Б., Горлов Е.В., Жарков В.И., Максимов Е.М., Панченко Ю.Н., Сакович Г.В. Дистанционный детектор следов взрывчатых веществ 160
Bobrovnikov S.M., Vorozhtsov A.B., Gorlov E.V., Zharkov V.I., Maksimov E.M., Panchenko Yu.N., Sakovich G.V. Remote detector of explosive traces 161

Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Потекаев А.И., Волокитин О.Г., Шеховцов В.В. Утилизация силикатных отходов при производстве минеральных волокон с помощью энергии низкотемпературной плазмы 162
Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Potekaev A.I., Volokitin O.G., Shekhovtsov V.V. Recycle of silicate waste in producing mineral fibres using energy of low-temperature plasma 164

Данилова Е.А. Политическое позиционирование инновационных технологий двойного назначения в ОПК как инструмент национального брендинга и глобального международного сотрудничества 166
Danilova E. Political positioning of innovation dual technologies in defense industry as an instrument of national branding and international collaboration 167

Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Особенности электровзрывного легирования и напыления 168
Romanov D.A., Budovskyh E.A., Gromov V.E. Highlights of electroexplosive alloying and spraying 170

Лукин В.В., Лебедев А.С., Шевырин А.Ю. Расчетно-экспериментальное исследование торможения струи при ее орошении водой 172
Lukin V.V., Lebedev A.S., Shevyrin A.Yu. Numerical-experimental investigation of jet deceleration while water sprinkling 173

Крюков Р.Е., Козырев Н.А., Громов В.Е., Семина О.А., Зенина Е.В. Новый сварочный материал для изготовления металлоконструкций ответственного назначения, эксплуатируемых при низких температурах 176
Kozyrev N.A., Kryukov R.E., Gromov V.E., Semina O.A., Zenina E.V. New welding material for manufacture of critical metalworks being used at low temperatures 176

Кудряшова О.Б., Степкина М.Ю. Электростатический заряд частиц порошка
и их сорбционная способность 177
Kudryashova O., Stepkina M. Electrostatic charge of powder particles
and their sorption capacity 178

Vorozhtsov S., Vorozhtsov A., Averin A. Explosive compaction synthesis
of an Mg_2Si powders 179

Потекаев А.И., Якубов В.П., Максимова Н.К., Севастьянов Е.Ю., Шипилов С.Э., Сакович Г.В.
Повышение чувствительности и селективности полупроводниковых газовых сенсоров 180
Potekaev A.I., Yakubov V.P., Maksimova N.K., Sevast'yanov E.Yu., Shipilov S.E., Sakovich G.V.
Increase in the sensitivity and selectivity of semiconductor gas sensors 180

Потекаев А.И., Копаница Д.Г., Устинов А.М., Абзаев Ю.А., Клопотов А.А. Экспериментальное
исследование методом корреляции цифровых изображений напряженно-деформированного
состояния поверхности стального уголка при нецентросимметричной деформации
растяжением 181
Potekaev A.I., Kopanitsa D.G., Ustinov A.M., Abzaev Y.A., Klopotov A.A. Apllication of of digital
images correlation method for an experimental study of a steel angle surface in a deformed state
under a noncentrosymmetric tensile deformation 183

Гольдин В.Д., Лаева В.И. Расчёт характеристик сопряженного конвективного
тепломассообмена 184
Goldin V.D., Laeva V.I. Calculation of characteristics of convective heat and mass exchange 185

Люкшенко Н.И., Калмыков П.И., Попок В.Н. Получение молекулярного комплекса
[1,2,5]оксадиазоло[3,4-e][1,2,3,4]-тетразин-4,6-ди-n-оксида с 2,4-динитро-2,4-диазапентаном
из раствора 186
Lutsenko N.I., Kalmykov P.I., Popok V.N. Obtaining the molecular complex [1,2,5]oxadiazole[3,4-
e][1,2,3,4]-tetrazine-4,6-di-n-oxide with 2,4-dinitro-2,4-diazapentane from the solution 188

Научное издание

ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ: ДЕМИЛИТАРИЗАЦИЯ, АНТИТЕРРОРИЗМ И ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Тезисы XII Международной конференции «HEMs-2016»
7–9 сентября 2016 года
(г. Томск, Россия)

HIGH ENERGY MATERIALS: DEMILITARIZATION, ANTITERRORISM AND CIVIL APPLICATION

Abstracts book of the XII International Workshop «HEMs-2016»
September 7–9, 2016
(Tomsk, Russia)

Оригинал-макет А.И. Лелоюр
Дизайн обложки Л.Д. Кривцовой

Подписано в печать 31.08.2016 г. Формат 60×84 1/8.
Бумага для офисной техники. Гарнитура Times.
Усл.-печ. л. 23. Тираж 250 экз. Заказ № 2027.

Отпечатано на оборудовании
Издательского Дома
Томского государственного университета
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36
Тел. 8+(382-2)–53-15-28
Сайт: http://publish.tsu.ru
E-mail: rio.tsu@mail.ru

ISBN 978-5-94621-559-6

