

**РАДИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ АЗИДА СЕРЕБРА
ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ ИМПУЛЬСАМИ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ**

А.Н. ДРОБЧИК, А.Г. КРЕЧЕТОВ, Е.В. ТУПИЦИН

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Б.П. АДУЕВ,

Кемеровский филиал ИХТТМ СО РАН,
Кемерово, Россия

В работе изучался спектр люминесценции монокристаллов азидов серебра при импульсном облучении пучком электронов. Спектры люминесценции регистрировались в спектральном интервале 1,1—3,5 эВ при температурах 300 и 80°К. В ходе экспериментов использовался допороговый режим возбуждения свечения ($J = 1,2 \text{ А/см}^2$), что позволяло проводить исследования на единичном образце.

В спектре свечения при 300 К наблюдается полоса на краю фундаментального поглощения с максимумом ~3 эВ. В области спектра 1,1—1,5 эВ наблюдается слабовыраженная полоса, которая при дальнейшем радиационном воздействии выгорает. При измерениях на низких температурах в спектре образца проявляются две полосы свечения — 1,65 и 1,87 эВ. При этом вторая полоса наблюдается в спектре только после отжига образца до 300 К, предварительно облученного при 80 К, либо при проведении предварительной радиационной обработки при комнатной температуре. Интенсивность данных полос увеличивается с ростом предварительной радиационной обработки.

На основании полученных экспериментальных данных предложена дивакансионная модель допороговой люминесценции, согласно которой наблюдаемые полосы люминесценции связываются с излучательными переходами в области дивакансий. Полоса с максимумом < 1,5 эВ приписывается так называемой «захватной» люминесценции, т. е. излучательному захвату электрона на дивакансию. Полосы 1,65 и 1,87 эВ связываются с внутрицентровыми переходами в центрах люминесценции, ядром которых являются дивакансии различной ориентации. Термически активированный переход полосы 1,65 эВ в полосу 1,87 эВ обусловлен реориентацией дивакансий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 01-03-32015а).

**RADIOLUMINESCENCE OF SILVER AZIDE
INITIATED BY HIGH-ENERGY
ELECTRON PULSES**

A.N. DROBCHIK, A.G. KRECHETOV, E.V. TUPITSIN

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

B.P. ADUEV

Kemerovo branch ICSSM SB RAC, Kemerovo, Russia

Luminescence spectrum of silver azide single crystals irradiated by an electron beam pulses has been investigated. Radioluminescence spectra were registered in the 1.1—3.5 eV spectral range at both 300 and 80 K. The under threshold excitation was used, allowing us to investigate an isolated sample.

The band with maximum at ~ 3 eV has been observed in glow spectrum at 300 K at fundamental absorption edge. In the 1.1—3.5 eV spectral range a weak band diminished under further radiation effect has been observed. At low temperatures two glow bands at 1.65 and 1.87 eV were appeared in the spectrum of a sample. The band at 1.87 eV was registered only for samples annealed at 300 K, which were pre-treated by radiation at 80 K or at room temperature. The above bands were intensified proportional to radiation pre-treatment duration.

From the data obtained a divacancy model of under threshold radioluminescence of silver azide is suggested. The model proposed agrees well with the experimental results available by now. According to the model the luminescence bands are related to radiative transitions near divacancies. The band with maximum < 1.5 eV is ascribed to the so-called «trapping» luminescence (i. e. radiative trapping of electron by divacancy). The bands at 1.65 and 1.87 eV are associated with transitions in luminescence centers whose core consists of divacancies with various orientation. The thermal-activated transition of the band at 1.65 eV to the band at 1.87 eV is due to re-orientation of divacancies.

The work is supported by RFBR (grant No. 01-03-32015).



НАЧАЛЬНЫЕ СТАДИИ ПРЕДВЗРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ В АЗИДАХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Ю.А. ЗАХАРОВ, Э.Д. АЛУКЕР, А.Г. КРЕЧЕТОВ

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Б.П. АДУЕВ

Кемеровский филиал ИХТТМ СО РАН,
Кемерово, Россия

В азидах тяжелых металлов (АТМ) были обнаружены предвзрывные явления (проводимость и люминесценция). Их кинетика для времен более 10^{-8} с хорошо описывается, исходя из представления линейного размножения и квадратичного обрыва цепи.

В данной работе представлены результаты исследований начальных стадий процесса ($t \leq 10^{-8}$ с). Установлено, что кинетика начальных стадий значительно более сложная. Ее невозможно описать простым выражением, имеющим прозрачный физический смысл. В отличие от развившегося процесса на начальных стадиях обнаружено значительное отличие кинетических параметров предвзрывной проводимости от образца к образцу.

Анализ результатов позволил связать эти особенности с различиями структурной дефектности образцов и гетерогенной природой зарождения реакции.

Для подтверждения гетерогенной природы зарождения реакции были проведены прямые измерения пространственно-временных характеристик предвзрывной люминесценции. Обнаружена очаговая природа предвзрывной люминесценции при инициировании сверхкороткими лазерными импульсами. Измерена скорость распространения люминесценции по образцу. Значение этой скорости (около 1000 м/с) позволяет связать распространение реакции с диффузией электронных возбуждений.

Представлена модель инициирования, основывающаяся на процессах захвата электрона дивакансией.

Исследования спектрально-кинетических характеристик люминесценции при допороговом возбуждении дают определенные доказательства в пользу модели.

Приведенные результаты демонстрируют принципиальную возможность изменения чувствительности АТМ за счет воздействия на дефектность структуры образца.

Работа выполнена при поддержке МНТЦ (проект 2180).

INITIAL STAGES OF PRE-EXPLOSIVE PROCESSES IN HEAVY METAL AZIDES

YU. A. ZAKHAROV, E.D. ALUKER, A.G. KRECHETOV

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

B.P. ADUEV

Kemerovo branch ICSSM SB RAS, Kemerovo, Russia

Previously, pre-explosive phenomena (conductivity and luminescence) in heavy metal azides (HMAs) have been found. Its kinetics for times more than 10^{-8} s is described reasonably from viewpoint of linear development and square-law break of a chain.

In the present work, initial stages of the process considered ($t \leq 10^{-8}$ s) have been investigated. Kinetics of early stages has been found to be more complicated. It can not be described by any simple expression having clear physical meaning. In contrast to developed process great discrepancy of pre-explosive conductivity kinetic parameters for different samples is observed at early stages.

From the analysis of the results obtained the above peculiarities can be associated with differences in defect structure of samples and heterogeneous nature of reaction origin.

The heterogeneous origin of the reaction has been proven directly in studies on space-time characteristics of pre-explosive luminescence. Hot spot nature of pre-explosive luminescence initiated by an ultrashort laser pulse has been established. The velocity of luminescence propagation over a sample has been measured as well. Its value of about 1000 m/s allowed us to relate it to electron excitation diffusion.

A model of initiation has been proposed. The process of the trapping of an electron by divacancy underlies the model.

Investigations on spectral-kinetics luminescence characteristics subthreshold excitation give some evidences in favor of the model.

The results obtained seem to us demonstrating principal possibility to control of HMAs sensitivity by the influence on defect structure of a sample.

This works has received financial support from ISTC (project 2180).



УРАВНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

Ю.А. АМИНОВ, Ю.А. НИКИТЕНКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Рассматриваются некоторые полуэмпирические равновесные калорические уравнения состояния средней сложности (с числом подбираемых констант менее 10), используемые для описания продуктов взрыва конденсированных ВВ. Анализируется расчетное поведение газодинамических параметров продуктов взрыва в диапазоне плотностей от $\sim 0,2$ до ~ 5 г/см³ на примере состава на основе ТАТБ. Проводится сравнение расчетных результатов с экспериментами.



АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТИ УДАРНЫХ ВОЛН В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ВЗРЫВОВ

А.В. АСТАНИН, И.М. ВАСЕНИН, А.Ю. КРАЙНОВ.,
Э.Р. ШРАГЕР, Д.Ю. ПАЛЕЕВ

Томский государственный университет
Российский научно-исследовательский институт
горноспасательного дела, Томск, Россия

Методы расчетов взрывобезопасных расстояний при взрывах в горных выработках основаны, как правило, на оценке интенсивности ударных волн, возникающих при мгновенном взрыве метановоздушной смеси в некотором объеме выработки. В реальных условиях детонация смеси, если она возникает, начинается в месте инициирования, а затем распространяется в виде детонационной волны. Поэтому важно знать, как влияет положение места инициирования и расположения загазованного объема в выработке на интенсивность ударных волн.

В докладе излагается исследование этой проблемы, проведенное путем численного решения уравнений газовой динамики. Приводятся результаты исследований решений уравнений нестационарной газовой динамики при различных типах взрывов в горных выработках. Результаты расчетов сравниваются с численными решениями задачи о распространении ударных волн после гипотетического мгновенного взрыва.

При расчетах детонационных волн в качестве начальных условий используется распределение параметров взрыва, найденное в результате аналитического решения задачи о детонации загазованного объема.

В работе показано, что, несмотря на значительные отличия параметров взрывов различных типов, интенсивность ударных волн на расстояниях превышающих длину объема взрыва, отличающихся мало. Это позволяет использовать для расчетов распространения ударных волн взрыва и взрывобезопасных расстояний в шахтах простейшую модель мгновенной детонации.

THE ANALYSIS OF INTENSITY OF SHOCK WAVES IN MINE WORKINGS AT VARIOUS TYPES OF EXPLOSIONS

A.V. ASTANIN, I.M. VASENIN, A.YU. KRINOV,
E.R. SHRAGER, D.YU. PALEEV

Tomsk state university Russian Research Institute
of Mine Rescue Work, Tomsk, Russia

Methods of calculation of explosion-proof distances at explosions in mine working are based, as a rule, on estimation of intensity of shock waves arising at an instant explosion of a methane-air mixture in a some volume of a working. In real conditions detonation of the mixture, if it appears, begins in the place of initiation, and then spreads in the form of detonation wave. That's why it is necessary to know, how the position of the place of initiation and the position of the air pollution volume in the working influence intensity of shock waves.

In the report is stated the research of this problem carried out by a numerical solution of equations of gas dynamics. The results are given of numerical researches of solutions of equations of non-stationary gas dynamics at different types of explosions in mine working. The results of the calculations comparing with numerical solutions of the task on shock waves propagation after hypothetical instant explosion. During calculation of detonation waves as initial conditions are used self-similar solution.

It is shown, that, despite of significant differences of parameters of explosions of various types, intensity of shock waves for them on distances exceeding length of volume of explosion differ a little. It allows to use for calculations of distribution of shock waves of explosion and explosion-proof distances in mines the elementary model of an instant detonation.



КИНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ВВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ

В.М. БЕЛЬСКИЙ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

Рассматривается адекватность существующих математических моделей процесса инициирования реальным условиям, происходящим в гетерогенном взрывчатом веществе за фронтом инициирующих ударных волн.

Показано, что в существующих моделях не учитывается реакция волны горения на изменение условий нагружения за ударным фронтом.

Предложена более полная математическая модель процесса с учетом реакции пламени на изменение внешних условий.



НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ ТАТБ ПРИ НАГРЕВАНИИ

Н.В. ГАРМАШЕВА, В.П. ФИЛИН, И.В. ЧЕМАГИНА,
Н.П. ТАЙБИНОВ, В.Т. ТИМОФЕЕВ, Н.Ю. ФИЛИПОВА,
М.Б. КАЗАКОВА, И.А. БАТАЛОВА, Ю.А. ШАХТОРИН,
Б.Г. ЛОБОЙКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Методами дифференциального термического (ДТА) и термогравиметрического (ТГА) анализов исследовано поведение нескольких взрывчатых веществ (ВВ) при нагревании. Показано, что на кривых ДТА некоторых ВВ (ТАТБ, БТФ) наблюдается тонкая структура экзотермического пика (при скорости нагрева 2 °С/мин), соответствующего разложению этих соединений. Для 1,1-диамино-2,2-динитроэтилена (ДАДНЕ) на кривой ДТА зарегистрированы два экзотермических пика.

Сформулированы две гипотезы, объясняющие полученные экспериментальные факты: перечисленные взрывчатые вещества представляют собой смеси (1) либо разложение этих ВВ происходит в две стадии (2).

С целью проверки сформулированных гипотез предпринята попытка снизить содержание примесей

в ТАТБ путем его перекристаллизации с использованием серной кислоты и диметилсульфоксида (ДМСО).

Исследована структура экзотермического пика на кривых ДТА и ИК-Фурье спектры ТАТБ в зависимости от способа перекристаллизации. Показано, что очистка ТАТБ от значительного количества примесей не привела к существенному уменьшению второго экзотермического пика на кривых ДТА этого ВВ. Полученные результаты придают дополнительный вес гипотезе о двухстадийном характере процесса взрывчатого разложения ТАТБ.

С помощью системы видео-микроскопии в реальном масштабе времени проведена видео съемка поведения кристаллов ТАТБ при равномерном нагревании в диапазоне температур 20—350 °С. Плавления кристаллов ТАТБ в исследованном диапазоне температур не зарегистрировано. При температуре выше +290 °С кристаллы ТАТБ претерпевают беспламенный экзотермический переход, сопровождающийся потерей прозрачности, уменьшением массы и размеров кристаллов с последующим образованием темного остатка при температуре приблизительно +350 °С.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕАКЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДОБАВКИ С ПРОДУКТАМИ ДЕТОНАЦИИ

С.Д. ГИЛЕВ, А.М. ТРУБАЧЕВ

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

Взрывчатые вещества (ВВ) с металлической добавкой являются важным классом взрывчатых материалов. Основная фундаментальная научная проблема для таких составов состоит в том, взаимодействует ли металл с продуктами детонации и каково время этого взаимодействия. Для решения указанной задачи опытные данные (скорость детонации, профили давления, массовой скорости, температуры) сопоставляются с результатами расчетов детонации смеси в предположении различного взаимодействия добавки. Среди недостатков такого подхода: слабое влияние реакции добавки на измеряемые параметры детонации, неоднозначность теоретического описания состояния продуктов детонации. В настоящее время

прямые измерения времени реакции металлической добавки с продуктами детонации отсутствуют.

В данной работе для исследования физико-химического взаимодействия добавки используется метод электропроводности. Использование метода основывается на том, что при взаимодействии компонент резко меняются электрические свойства смеси. В частности, окисление металла сопровождается переходом металл-диэлектрик с изменением электропроводности на много порядков. Можно ожидать, что регистрация макроскопической электропроводности смесового состава даст информацию о факте реакции и позволит найти ее время. В силу большого диапазона изменения электропроводности такой способ обладает высокой чувствительностью и может дать прямую информацию о физическом состоянии добавки.

В докладе обсуждаются подходы к разработке метода электропроводности продуктов детонации металлизированных ВВ. Требования к схеме измерений носят противоречивый характер и осложняются влиянием электромагнитного скин-эффекта. Предлагается электроконтактная техника измерения электропроводности высокого временного разрешения, основывающаяся на ударно-волновом инициировании ВВ. Приводятся результаты регистрации детонационной электропроводности смесовых составов для различного содержания добавки. Качественные особенности полученного вывода о проводимости подтверждаются бесконтактным электромагнитным методом, использующим сходение квази-цилиндрической детонационной волны в магнитном поле. Электроконтактным методом для составов с различным процентным содержанием металла зарегистрированы спадающие профили электропроводности в детонационной волне, что позволяет сделать оценки времени окисления алюминия в зависимости от содержания, размера частиц, степени пересжата детонации.

Работа поддержана грантом РФФИ 03-03-33175.

USING THE ELECTRIC CONDUCTIVITY METHOD TO OBTAIN REACTION TIME OF METALLIC ADDITIVE WITH DETONATION PRODUCTS

S.D. GILEV, A.M. TRUBACHEV

Lavrentev Institute of Hydrodynamics, Siberian Division
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

High explosive (HE) with metallic additive is an important class of explosive materials. Basic fundamental scientific problems for such compounds are the fol-

lowing: does metal interact with detonation products? What is the interaction time? To solve the problems experimental data (detonation velocity, profiles of pressure, mass velocity, and temperature) are compared with simulations of detonation under assumptions on additive interaction. Among the weaknesses of the approach are the following: poor effect of the reaction on measurable parameters of detonation, ambiguity of theoretical description of state of detonation products. At present direct measurements of reaction time of metallic additive with detonation products are absent.

In this presentation the electric conductivity method is used to study physical-chemical interaction of the additive. The method uses that under the interaction electric properties of the mixture change sharply. In particularly, oxidizing metal leads to metal-dielectric transition and is accompanied by change of the electric conductivity up to few orders of magnitude. One would expect that registration of the mixture conductivity gives information on the reaction and allows one to obtain the reaction time. Due to large range of conductivity variation the approach has good sensitivity and may give direct data on physical state of the additive.

We discuss technique for measuring the electric conductivity of detonation products of metallized HEs. Wants to measuring scheme are mutually contradictory and are complicated by electromagnetic skin effect. An electric contact technique of measuring the conductivity of high temporal resolution is used. The technique is based on shock initiation of the HE. Results on detonation conductivity of the mixtures are presented for different content of the additive. The conclusions on the conductance are supported by non-contact electromagnetic technique using convergence of quasi-cylindrical detonation wave in magnetic field. Decreasing profiles of the detonation conductivity are recorded for mixtures of different percentage of metal by the electric contact technique. This allows one to get estimation of aluminium oxidation time in dependence on metal content, grain size, and detonation overdriving.

The work is supported by grant of RFBR №03-03-33175.



ИНИЦИИРОВАНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЯХ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

А.Н. ГОЛОВЧАК, А.С. ДУДЫРЕВ, А.В. ВЕДЕНЕЦКИЙ

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

Пиротехнические составы (ПС) до недавнего времени представляли интерес лишь в качестве зарядов, реализующих под действием лазерного излучения исключительно процессы горения (стационарного или взрывного) и, следовательно, не могли использоваться в лазерных цепях подрыва, основанных на детонационных режимах. Впервые композиции, способные к детонационным превращениям под действием импульсного лазерного излучения ($\lambda = 1,06$ мкм), были разработаны в СПбГТИ(ТУ) на основе перхлората аммония и гипохлоритов аммония и щелочных металлов [1, 2]. Композиции устойчиво детонируют под действием лазерного излучения, как в режиме модулированной добротности резонатора, так и свободной генерации и транслируют процесс детонации при малых критических диаметрах ($\sim 1,8 \div 2,0$ мм). Однако к недостаткам этих композиций следует отнести достаточно высокий порог лазерного инициирования, который составляет $1,5\text{--}6,0$ Дж/см², что существенно ниже порога инициирования бризантных ВВ, но выше порога инициирования штатных ИВВ.

Результатами проведенных исследований показана возможность снижения этого порога практически на порядок и достижение уровня $0,2\text{--}0,6$ Дж/см², что соответствует порогу лазерного инициирования штатных ИВВ. Перспективными в этом отношении являются композиции на основе перхлоратов аммония и калия с такими горючими как о-карборан и боргидрид калия. Экспериментально установлена меньшая зависимость плотности энергии инициирования смесей от режима генерации излучения, в отличие от инициирующих ВВ.

Высокая чувствительность разработанных композиций к лазерному излучению обусловлена, по видимому, способностью горючих диспропорционировать с образованием в качестве промежуточных продуктов высокоактивных соединений (фосфина, дифосфина, водорода, диборана и др.), которые могут в значительной мере способствовать развитию цепных реакций в ПС под действием термического или ударного импульса.

Скорость детонации смесей составляет $5500\text{--}6000$ м/с. Показана высокая надежность инициирования зарядов бризантных ВВ (ТЭН, СЛ-20) от свето-

чувствительных композиций при их минимальных навесках.

Ссылки

1. Дудырев А.С., Головчак А.Н., Осташев В.Б., Чумак Ф.А. Детонационное превращение гетерогенных конденсированных систем под действием лазерного излучения. // ЖПХ. — 1998. — Т. 71, Вып. 12. — С. 1983—1985.
2. Патент № 2119903. Пиротехнический состав, детонирующий под действием ударно-волновых нагрузок / Головчак А.Н., Дудырев А.С., Осташев В.Б., Чумак Ф.А. // Бюллетень № 28, 1998.

INITIATION OF DETONATION PROCESSES IN PYROTECHNIC FORMULATIONS UNDER THE ACTION OF LASER IRRADIATION

A.N. GOLOWCHAK, A.S. DUDYREV, A.V. VEDENEZKY

Russia, St.-Petersburg, St.-Petersburg State Institute of Technology (Technical university), SPbGTI(TU), Tomsk, Russia

Until recently pyrotechnic formulations (PF) were of interest only as charges realizing exclusively combustion processes (layer-by-layer or explosive) under the action of laser irradiation and, therefore, could not be used in laser blasting circuits based on the detonation regime. The formulations capable of detonation under the pulse laser irradiation ($\lambda = 1,06$ μ), were originally developed at SPbGTI (TU) on the basis of ammonium perchlorate and hypophosphites of ammonium and alkali metals [1, 2]. The formulations steadily detonate under the action of laser irradiation acting both in the mono pulse mode and in continuous generation regime, the detonation process propagating under the conditions of small critical diameters ($\sim 1,8\text{--}2,0$ mm). However, the formulation feature some drawbacks, among these are sufficiently high threshold of laser initiation (it ranges from $1,5$ to $6,0$ J/cm²). It is significantly lower than the initiation threshold of high explosives, but higher than the initiation threshold of ordinary primary explosives (PE).

The results of our investigation showed that this threshold can be lowered by one order of magnitude and the level of $0,2\text{--}0,6$ J/cm² can be attained, which corresponds the laser initiation threshold of ordinary PE.

In this respect the formulations on the basis of ammonium and potassium perchlorates and such fuels as o-carborane and potassium borohydride are promising. It

was shown experimentally that the energy density of initiation of the mixtures depends on the regime of generation of laser irradiation, in a lesser extent than for primary explosives.

Probably, the reason for the high sensitivity towards pulsed laser irradiation is the ability of fuels to generate some active compounds (phosphine, diphosphine, hydrogen, diborane and others) as intermediates. These intermediates appreciably promote the development of chain reactions in PF under thermal or shock pulse.

The velocity of detonation of the mixtures is 5500–6000 m/sec. It was shown that even a minimal amount of high-sensitive pyrotechnic formulations studied by us can initiate industrially produced high explosives (PETN, CL–20) with high reliability.

References

1. Дудырев А.С., Головчак А.Н., Осташев В.Б., Чумак Ф.А. Детонационное превращение гетерогенных конденсированных систем под действием лазерного излучения. // ЖПХ. — 1998. — Т. 71, Вып. 12, — С. 1983—1985.
2. Патент № 2119903. Пиротехнический состав, детонирующий под действием ударно-волновых нагрузок / Головчак А.Н., Дудырев А.С., Осташев В.Б., Чумак Ф.А. // Бюллетень № 28, 1998.



ТЕРМИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЛАСТИФИЦИРОВАННОГО ТАТБ

К.Ф. ГРЕБЕНКИН, А.Л. ЖЕРЕБЦОВ,
В.В. ПОПОВА, М.В. ТАРАНИК

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забахина, Снежинск, Россия

В работе предложено термическое уравнение состояния взрывчатых составов (ВС) на основе ТАТБ, при построении которого наряду с экспериментальными данными (ударные адиабаты образцов PBX 9502 (95%ТАТБ, 5%Кел–F) с различной начальной температурой [1,2]) использовались результаты квантово-механических и молекулярно-динамических расчетов термодинамических параметров — теплоемкости при постоянном объеме и изохорического коэффициента давления. Были выявлены их особенности, а именно — сильная зависимость теплоемкости от

температуры, а изохорического коэффициента давления от удельного объема. В уравнении состояния используются термодинамически согласованные параметры состояния кристаллического ТАТБ на изобаре 1 атмосфера, полученные на основе анализа расчетных и экспериментальных данных. Проведена оценка влияния пластификатора на ударную сжимаемость ВС на основе ТАТБ.

Предложенное уравнение состояния позволило описать результаты экспериментов по ударному сжатию ВС PBX 9502, в которых начальная температура образцов варьировалась в широких пределах от -55 до 252 °С, а начальная плотность от $1,7$ до $1,93$ г/см³. Рассчитаны температуры ударного нагревания этого ВС с различной начальной температурой. Обнаружен сильный нелинейный эффект — ВС с повышенной начальной температурой имеют более крутую зависимость $T(P)$.

Анализ расчетных данных по температурам ударного сжатия дает указания на то, что помимо структурных факторов (пористость, размер зерен ВВ), определяющих формирование «горячих точек», температура объемного разогрева в значительной степени определяет скорость химического превращения ВВ. С этой точки зрения можно объяснить следующие экспериментально наблюдаемые эффекты: значительное снижение давления инициирования ВС на основе ТАТБ при предварительном нагревании образцов или увеличении пористости при нормальной начальной температуре, а также снижение ударно-волновой чувствительности предварительно поджатых ВС (поджатие слабой ударной волной или нагревание в металлической оболочке).

Ссылки

1. Dallman J.C., Wackerle J. Temperature-dependent shock initiation of TATB-based high explosives. Proceedings of the 9th Symposium (Int.) on Detonation. — P. 130—137.
2. Dick J.J., Forest C.A., Ramsay J.B., Seitz W.L. The Hugoniot and shock sensitivity of a plastic-bonded TATB explosive PBX 9502. // J. Appl. Phys. — 1988. — V. 63(10). — P. 4881—4888.

***P, V, E, T*-EQUATION OF STATE FOR TATB-BASED EXPLOSIVES**

K.F. GREBYONKIN, V.V. POPOVA,
M.V. TARANIK, A.L. ZHEREBTSOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

The paper presents the theoretical *P, V, E, T*-equation of state for TATB-based explosives. The EOS has been constructed using the experimental data (Hugoniot of PBX9502 with different initial temperatures [1, 2]) and the results of *ab initio* and molecular dynamic calculations of the thermodynamic parameters — heat capacity at constant volume and isochoric pressure ratio. The main features of these thermodynamic coefficients were identified, namely — the strong temperature dependence of heat capacity C_V and the strong volume dependence of isochoric pressure ratio.

The EOS uses the thermodynamic consistent parameters of TATB at isobar 1 atmosphere. The estimates of the binder influence on shock compressibility of TATB-based HE were done.

The calculations of shock wave heating of HE with different initial temperatures were performed. The strong nonlinear effect was found — HE with higher initial temperature has more strong dependence $T(P)$.

The analysis of calculated dependences $T(P)$ shows that besides structure factors (porosity, grain size of HE) the temperature of shock heating determines the decomposition rate at high extent. From this point of view some experimental effects can be explain: the significant decreasing of initiation pressure in case of preheated HE or in case of high porosity samples; the decreasing of shock-wave sensitivity of precompressed HE (for example, by weak air shock wave or for samples heated in a metal confinement).

References

1. Dallman J.C., Wackerle J. Temperature-dependent shock initiation of TATB-based high explosives. Proceedings of the 9th Symposium (Int.) on Detonation. — P. 130—137.
2. Dick J.J., Forest C.A., Ramsay J.B., Seitz W.L. The Hugoniot and shock sensitivity of a plastic-bonded TATB explosive PBX 9502. // J. Appl. Phys. — 1988. — V. 63(10). — P. 4881—4888.



ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ СОХРАНЕННЫХ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

П.И. ЗУБКОВ, П.И. ИВАНОВ, А.М. КАРТАШОВ,
Л.А. ЛУКЪЯНЧИКОВ, Л.А. МЕРЖИЕВСКИЙ, В.Г. СВИХ,
Н.Г. СКОРОБОГАТЫХ, К.А. ТЕН

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

А.И. АНЧАРОВ, Б.Б. БОХОНОВ, О.В. ЕВДОКОВ,
И.Л. ЖОГИН, Ю. П. КОЛМОГОРОВ, Б.П. ТОЛОЧКО,
М. Р. ШАРАФУТДИНОВ

Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
Новосибирск, Россия.

М.А. ШЕРОМОВ

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,
Новосибирск, Россия

Твердая фаза сохраненных продуктов детонации традиционных ВВ состоит из конденсированного углерода, других структур, в том числе и из ультрадисперсных алмазов (УДА). При ее исследовании основное внимание уделялось УДА, их количеству и размерам. Другие структуры незаслуженно игнорировались.

Выше сказанное побудило авторов начать исследование структуры твердой фазы сохраненных продуктов детонации (шихты) с привлечением новых методов исследования (в том числе и синхротронного излучения). Исследовалась твердая фаза тротила, гексогена, октогена, тэна и смесей тротила с гексогеном, и тэна со стеариновой кислотой и стеаратами.

Для получения чистой твердой фазы продуктов детонации использовались взрывная камера облицованная нержавеющей сталью и медью. Заряд ВВ находился внутри оболочки из льда, его подрыв проводился с помощью специального боевика, инициирование которого осуществлялось электрическим взрывом медной проволоки в мелкодисперсном тэне (0,2 г). Корпус боевика отливался из ТГ.

Для исследований использовались электронно-оптический метод, метод электронной дифракции, метод дифрактометрии синхротронного излучения, метод элементного анализа на пучках синхротронного излучения, метод электропроводности сохраненных продуктов и метод электропроводности при ударном сжатии стеаратов, метод малоуглового рассеяния синхротронного излучения в динамических экспериментах.

В докладе приводятся результаты проведенных исследований.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ИНИЦИИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ КАК ЭЛЕМЕНТА МАКЕТА МОДЕЛИ СВЕТОДЕТОНАТОРА

И.В. ЦЕЛИНСКИЙ, М.А. ИЛЮШИН, И.А. УГРЮМОВ

Санкт-Петербургский государственный технологический
институт (технический университет),
Санкт-Петербург, Россия

Синтез наноструктур с заданными характеристиками и создание функциональных материалов на их основе в силу уникальности их свойств вошли в число приоритетных задач мировой науки. Наночастицы, обычно размер которых лежит в пределах 1—100 нм, часто проявляют необычные свойства по сравнению со свойствами материалов, образованных частицами микронного размера. Размерные эффекты в значительной степени изменяют макроскопические свойства материалов. Высокая химическая активность наночастиц обусловлена, очевидно, высоким значением отношения поверхности частиц к их объему.

Среди перспективных областей использования наноструктурированных композитных материалов можно выделить и энергоемкие конденсированные системы, например светочувствительные ВВ для систем лазерного инициирования.

Лазерное инициирование — относительно новый способ подрыва ВВ, отличающийся повышенной безопасностью. При лазерном инициировании обеспечивается высокий уровень изоляции светодетонатора от ложного импульса передаваемого по линии связи с импульсным лазером, поскольку в оптическом диапазоне отсутствуют случайные источники с мощностью, достаточной для подрыва детонатора. Светодетонаторы нечувствительны к электромагнитным наводкам и зарядам статического электричества. Одним из основных элементов цепи лазерного инициирования являются светочувствительные энергоемкие вещества.

Исходя из анализа имеющихся результатов изучения влияния размера кристаллов на восприимчивость светочувствительных ВВ к лазерному импульсу можно предположить, что существует оптимальный размер частиц для данного светочувствительного ВВ, имеющих наименьший порог инициирования, причем их сечение должно быть близко к величине «горячих точек» (интенсивных очагов локального разогрева) в веществе. Очевидно, размер наноструктур для энергоемких солевых систем должен лежать в диапазоне от ~100 до ~1000 нм, исходя из результатов, полученных при изучении лазерного инициировании перхлората аммония.

В качестве светочувствительного ВВ нами был синтезирован и изучен комплексный перхлорат ртути

(II) с 5-гидразинотетразолом в качестве лиганда (соединение (I)). Данный выбор основывается на высокой положительной энтальпии образования 5-гидразинотетразола, мощной окислительной способности перхлорат-иона, высоком потенциале ионизации катиона ртути, что должно привести к получению высокоэнергоемкого соединения с коротким участком перехода горения в детонацию, чувствительного к лазерному излучению.

Полученное комплексное соединение обладает экстремально высокой восприимчивостью к лазерному моноимпульсу ($\lambda = 1,06$ мкм, $\tau_{\text{имп}} = 30$ нс, $d_{\text{луча}} = 0,48$ мм) < 5 мДж·см⁻², что позволяет отнести соединение (I) к сравнительно новому классу энергоемких светочувствительных металлокомплексных ИВВ и использовать его в лазерных системах инициирования.

На основе соединения (I) был разработан светочувствительный состав ВС-2, состоящий из ~90% комплексного перхлората ртути и ~10% оптически прозрачного полимера, играющего роль стабилизирующей инертной матрицы.

Изучался оптический детонатор (ОД), в котором ВС-2 с целью повышения безопасности был отделен от навески ВВ металлической чашкой. Состав наносился на чашку в виде пленки толщиной ~1,5 мм. Навеска ВС-2 ~30 мг.

Предварительные испытания показали, что чувствительность ВС-2 к лазерному импульсу неодимового лазера превысила чувствительность азид свинца (~80 мкДж) и других штатных ИВВ. Так, 50 %-ое срабатывание модельных ОД, снаряженных ВС-2, в режиме моноимпульса имело место при энергии излучения ~20 мкДж, а в режиме свободной генерации — 2,5 мДж. Инициирование ВС-2 во всех случаях приводило к передаче детонации ВВ, размещенному под чашкой. В результате удалось инициировать не только инициирующие ВВ, но и ТЭН, относящийся к классу бризантных ВВ. Таким образом, разработан и успешно испытан макет безопасного ОД нового поколения.

PRIMARY EXPLOSIVES AS ELEMENTS OF OPTICAL DETONATOR MODEL

I.A. UGRUMOV, M.A. ILYUSHIN, I.V. TSELINSKY

The St.-Petersburg state institute of technology
(technical university), St.-Petersburg, Russia

Synthesis of nano-structures with predetermined characteristics and development of functional materials on their basis have become one of priority problems in the materials science. Nano-particles, whose size lies

within the limits of 1—100 nanometers, frequently display unusual properties in comparison with the properties of materials formed by particles of the micron size. Dimensional effects substantially change macroscopic properties of materials. High reactivity of nano-particles is, apparently, due to the high value of the ratio of the surface of particles to their volume.

Among perspective areas of application of nano-structured materials it is possible to bleed energetic condensed systems, for example, photosensitive primary explosives (PE) for the systems of laser initiation.

Laser initiation is a rather new means of PE blasting distinguished by improved safety. In the optical range there are no sporadic-energy sources with the capacity, sufficient to blast the optical detonator (OD). It provides a high level of isolation of the OD from the occasional pulses transferred along the communication line from the pulse laser. OD is tolerant to electromagnetic interference as well as to discharges of a static electricity. One of the basic elements of the laser initiation circuit is a photosensitive power-intensive compound.

Starting from the results of research devoted to the influence of crystal size on susceptibility of photosensitive PE towards pulse it is possible to assume the existence of the optimal particle size for a given photosensitive compound, possessing the lowest threshold of initiation. Their diameter should be close to the size of «hot points» (centers of intensive local heating) in PE. Apparently, the size of nano-structures for energetic ionic compounds should lie in the 100 ~1000 nanometers, judging from the results of study of laser initiation of ammonium perchlorate.

As potential photosensitive energetic primary explosives we synthesized and investigated complex perchlorate of mercury (II) with 5-hydrazinotetrazole as a ligand (compound (I)). Our choice is based on the high positive enthalpy of formation of 5-hydrazinotetrazole, high oxidizing ability of the perchlorate ion and a high potential of ionization of mercury cation. These parameters should provide the synthesis of energetic compound with a short site of burn-to-detonation transition, sensitive to laser radiation.

Complex (I) has extremely high susceptibility to laser mono pulse ($\lambda = 1.06$ microns, $\tau_{pulse} = 30$ ns, $d_{ray} = 0.48$ mm) $< 5 \text{ mJ}\cdot\text{cm}^{-2}$, which allows to classify compound (I) as a representative of a photosensitive energetic metal-complex PE and to use it in laser systems of initiation.

On the basis of compound (I) the photosensitive formulation EC-2 consisting of ~90 % of the complex mercury perchlorate and ~10 % of optically transparent polymer playing the role of a stabilizing inert matrix has been developed.

The optical detonator in which EC-2 formation for the sake of increased safety was separated from the secondary high explosive (SHE) by a metal cup, was stud-

ied. The cap was coated with EC-2 formation 1.5 mm thick (weight about 30 mg)

The trial tests showed, that EC-2 sensitivity to pulse the neodymium laser pulse exceeded that of lead azide (~80 mcJ). So, the 50 % explosion probability of the model of OD, charged with EC-2, in a mono pulse mode of initiation took place at radiant energy of 20 mcJ, while in the free generation mode it comprised 2.5 mcJ. Initiation of EC-2 in all cases resulted in the transfer of detonation to charge the SHE charge. Thus, the model of safe OD of new generation has been developed and successfully tested.



ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ В ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛНАХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ

П.И. ЗУБКОВ, П.И. ИВАНОВ, А.М. КАРТАШОВ,
Л.А. ЛУКЬЯНЧИКОВ, В.Г. СВИХ, К.А. ТЕН

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

При распространении сильных ударных волн происходит разделение электрических зарядов, связанное с их различной подвижностью и с поляризацией вещества. Высокие градиенты давлений, температур и массовых скоростей и возникающая проводимость в детонационной волне взрывчатых веществ может приводить к аналогичным явлениям. Подтверждением данного предположения является полученное ранее авторами распределение потенциала в детонационных волнах.

Для исследования распределения зарядов в детонационной волне были поставлены эксперименты позволяющие восстанавливать распределение потенциала вдоль распространения детонации. Исследовались насыпные и прессованные октоген, тэн, тротил.

Экспериментальные результаты представляют собой зависимость напряжения на измерительной ячейке от времени. Эти результаты позволяют восстановить распределение потенциала в детонационной волне вдоль её распространения. По восстановленному потенциалу находилось распределение электрических зарядов операцией двойного дифференцирования по координате и дипольный момент.

Дипольный момент в исследуемых ВВ направлен в сторону распространения детонации. В стационарном режиме он постоянен.

Полученное распределение зарядов имеет следующий вид: впереди идет небольшой отрицательный заряд, за ним следуют большой положительный и большой отрицательный заряды. В насыпных тэне, октогене и тротиле ширина распределения 0,15; 0,23 и 0,34 мм соответственно.

Характер распределения свидетельствует по меньшей мере о двух механизмах его возникновения. По представлениям авторов одним из механизмов является поляризация ВВ в инициирующей ударной волне. Другой механизм обусловлен процессами происходящими при возникновении проводимости.

Большая величина потенциала на фронте детонационной волны (порядка нескольких киловольт) свидетельствует о нетепловой природе его возникновения.

Таким образом в проведенных экспериментах обнаружена тонкая структура детонационного фронта.

The dipole moment in investigated explosives is codirectional with the detonation propagation. At stationary regime it is constant.

The obtained distribution has the following form: the small negative charge goes in advance, followed by large positive charge and large negative charge. In powdered PETN, HMX and trotyl widths of distributions are 0.15, 0.23 and 0.34 mms respectively.

The nature of distribution testifies at least to two gears of its originating. On authors conception one of mechanisms is the polarization of explosive in priming shockwave. Other mechanism is conditioned by processes which take place at originating of conductivity.

The large value of a potential at the front of detonation wave (about several kilovolts) testifies to the non-thermal nature of its originating.

Thus in the conducted experiments the fine structure of detonation front is detected.



RESEARCH OF DISTRIBUTION OF ELECTRIC CHARGES IN DETONATION WAVES OF CONDENSED EXPLOSIVES

P.I. ZUBKOV, P.I. IVANOV, A.M. KARTASHOV,
L.A. LUK'YANCHIKOV, V.G. SVIKH, K.A. TEN

Lavrent'yev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

At propagation of strong shockwaves there is a separation of electric charges, related to their different movability and matter's polarization. High gradients of pressure, temperatures and mass rates and the arising conductivity in a detonation wave of explosives can result in to analogous phenomena. The potential distribution in detonation waves, obtained earlier by the authors, is the confirmation of the given supposition.

For research of distribution of charges in a detonation wave the experiments permitting to restore a potential distribution along the detonation propagation were carried out. The powdered and pressed HMX, PETN and trotyl were investigated.

The experimental outcomes represent time dependence of voltage of measuring cell. These outcomes allow restoring a potential distribution in a detonation wave lengthways its propagation. Distribution of electric charges was found by operation of double coordinate differentiation of the retrieved potential and dipole moment was found too.

О ВЛИЯНИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ЗАЖИГАНИЕ ТВЕРДЫХ ВЕЩЕСТВ

А.Г. КНЯЗЕВА

Институт физики прочности
и материаловедения СО РАН, Томск, Россия

Известно, что скорость горения твердых топлив зависит от напряженно-деформированного состояния, вызванного внешней механической нагрузкой или условиями фиксации топлива в камере РДТТ. Эта зависимость может быть связана с различными причинами — особенностями активации реакции в твердой фазе, структурной неоднородностью топлива (наличием включений, пор, микротрещин), наличием больших градиентов температуры и физико-механических свойств в зоне реакции. Физические процессы в твердой фазе взаимосвязаны и могут влиять на скорость химического превращения как прямо, так и косвенно, т. е. посредством так называемых обратных связей. Следовательно, внешнее воздействие, в том числе и механическое, может проявиться различным образом.

В настоящем докладе с использованием связанных моделей предполагается продемонстрировать роль механических процессов в инициировании реакции в твердой фазе, в частности, в зажигании твердых веществ. При анализе частных задач теории зажигания с учетом механических процессов (выполненных автором в разное время) выяснено, что условия фиксации

образца влияют на скорость его нагрева и, следовательно, на скорость протекающих в нем превращений; формально–кинетические параметры суммарной реакции в твердой фазе могут иметь совсем не тот смысл, какой им придается в чисто тепловых моделях зажигания и горения; характеристики реакционной зоны и структура продуктов твердофазной стадии превращения существенно зависят от кинетики накопления повреждений (повреждения, накопившиеся в твердой фазе, могут быть одной из основных причин неустойчивой работы двигателей на твердых топливах в особых климатических условиях); характеристики процесса зажигания и структура зоны реакции существенно зависят от реологических свойств топлива, а при теоретическом исследовании — от выбранной реологической модели, описывающей конкретное конденсированное вещество.

При исследовании используются простейшие аналитические оценки, асимптотические и численные методы.

TO MECHANICAL PROCESSES INFLUENCE ON THE IGNITION OF SOLID SUBSTANCE

A.G. KNYAZEVA

Institute of Strength Physics and Material Science,
Tomsk, Russia

It is known, that the burning rate of solid fuels depends on stress–strain state caused by the external mechanical loading or by the fuel fixation condition into chamber (in combustion engine). This dependence can be connected with the various causes — features of reaction initiation into a solid phase, structure heterogeneity of the fuel (inclusions, pores and micro cracks are present into fuel always), high temperature gradients and physical — mechanical properties changes into the reaction zone. Physical processes into solid phase are interrelated and can effect on the chemical reaction rate direct and indirect that is by means of feedbacks. Therefore, external mechanical action can appear with different ways.

In this report, it is proposed to demonstrate the role of the mechanical processes in the solid–phase chemical reaction initiation, particularly, in the solid substance ignition. During the analysis of particular problems (suggested and examined in different time), where the mechanical processes are taken into consideration, ones succeeds to ascertain, that the fixation condition of the specimen with given form effect on the heating rate, and hence on the rate of the conversions running in them; the formal–kinetics parameters of summary reaction into

solid phase can have the sense differs from one that pure thermal combustion theory imparts to them; the reaction zone characteristics and the structure of solid product of solid phase stage of conversion depend essentially on the damages accumulation kinetics (the damages accumulating into the solid phase can be one of cause of the unsteady working of the engine with solid fuel in the specific condition; the characteristics of the ignition processes and the reaction zone structure depends essentially on the rheological properties of the fuel, and during theoretical investigations — on the chosen rheological model for specific condensed substance.

The simplest analytical estimations, asymptotical and numerical methods have been used for investigation of individual problems.



ОЧАГОВОЕ ЗАРОЖДЕНИЕ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ АЗИДА СЕРЕБРА

Э.Д. АЛУКЕР, А.Г. КРЕЧЕТОВ,
А.Ю. МИТРОФАНОВ, Е.В. ТУПИЦИН

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Б.П. АДУЕВ

Кемеровский филиал ИХТТМ СО РАН,
Кемерово, Россия

Представлены исследования динамической топографии взрывного свечения азидов тяжелых металлов (АТМ) с использованием современных экспериментальных методик с нано– и субнаносекундным временным разрешением.

Увеличенное изображение нитевидного кристалла азид серебра передавалось оптическим объективом на фотокатод стрик–камеры «View 2A». Пространственное разрешение составляло 50 мкм. Иницирование осуществлялось лазерным импульсом. Свечение образца при иницировании вблизи порога взрывного разложения локализовано в отдельных светящихся точках. Следует подчеркнуть, что при плотности энергии ~ 5 мДж/см² люминесценция является предвзрывной. Если плотность энергии возбуждения увеличить до 150 мДж/см², то свечение становится гомогенным, и проявляется первый компонент предвзрывного свечения.

Результаты показывают, что развитие взрывного разложения вблизи порога инициирования имеет выраженный гетерогенный характер. Мы предполагаем, что эти области имеют увеличенную локальную концентрацию структурных дефектов (например, области вблизи дислокаций). Основания для такого предположения дают ранее полученные результаты. Авторы [1] установили, что медленное разложение АТМ в электрическом и магнитных полях происходит вблизи дислокаций. Кроме того, теоретические расчеты для бризантных взрывчатых веществ предсказывают значительное сужение запрещенной зоны вблизи дислокаций [2].

Приведенное рассмотрение природы локальных областей инициирования АТМ предварительное и требует дополнительной экспериментальной проверки.

Работа выполнена при поддержке МНТЦ (проект 2180).

Ссылки

1. Krascheninin V.I., Zakharov Yu.A., et al. // Chem. Phys. Reports, 1995. — **14**. — 126.
2. Kuklja M.M., Aduев B.P., Aluker E.D., et al. // J. Appl. Phys. — 2000. — **89**. — 4156.

THE HOT SPOT-ORIGIN OF EXPLOSIVE DECOMPOSITION IN SILVER AZIDE

E.D. ALUKER, A.G. KRECHETOV,
A.YU. MITROFANOV, E.V. TUPITSIN

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

B.P. ADUEV

Kemerovo branch ICSSM SB RAS, Kemerovo, Russia

The investigation of topography dynamics for heavy metal azides (HMA) explosive glow, using modern experimental techniques of nanosecond and subnanosecond time resolution is reported.

An enlarged image of silver azide whisker was transmitted by optical objective to photoelectric cathode of streak-camera «View 2A». Spatial resolution was 50 μm . Initiation was performed by a laser pulse. The sample glow under initiation near threshold of explosive decomposition is localized in separate luminous points. It should be emphasized that we concerned with predetonation luminescence at the density of energy $\sim 5 \text{ mJ/cm}^2$. When the density of excitation energy is elevated to 150 mJ/cm^2 homogeneous glow in a sweep is observed, the fast first component occurs in predetonation glow.

The results obtained show that development of explosive decomposition has expressed heterogeneous charac-

ter near initiation threshold under the effect of even ultrashort laser pulses. We propose that these areas have increased local concentration of structure defects (e. g. areas near dislocations). The results presented elsewhere give an evidence for the above assumption. The authors [1] have stated that HMA slow decomposition in electric and magnetic fields occurs near dislocations. Furthermore, theoretical calculations predict appreciable constriction of band gap near dislocations for high explosives [2].

The above considerations on the nature of local areas of HMA initiation are preliminary ones and require further experimental testing.

This work has received financial support from ISTC (project 2180).

References

1. Krascheninin V.I., Zakharov Yu.A., et al. // Chem. Phys. Reports, 1995. — **14**. — 126.
2. Kuklja M.M., Aduев B.P., Aluker E.D., et al. // J. Appl. Phys. — 2000. — **89**. — 4156.



ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПРЕГРАДЫ НА ЕЕ СТОЙКОСТЬ К ДЕЙСТВИЮ ВЗРЫВА

М.А. ЛЕБЕДЕВ, Д.М. ЛЕБЕДЕВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В начале 80-х годов при обсуждении одного из конкретных вопросов Е.И. Забабахиним было предложено исследовать поведение преграды на пути распространения продуктов взрыва в форме конуса, который при взрыве может обладать большей прочностью по сравнению с пластиной.

В докладе приводится расчетное определение осевых импульсов, сообщаемых взрывом заряда взрывчатого вещества плоской и конической преградам одинакового диаметра.

Из сравнения полученных зависимостей видно, что отношение импульсов в осевом направлении, воспринимаемое плоскостью и конусом, составляет

$$K = \frac{I_{\text{пластина}}}{I_{\text{конус}}} = \frac{1}{\sin^2},$$

где: $I_{\text{пластина}}$ — импульс, сообщаемый круглой плоской $I_{\text{конус}}$ — импульс, сообщаемый конической преграде с углом заострения 2β .

Из этой зависимости следует, что применение преграды в виде конуса позволяет снизить действующий на нее осевой импульс от взрыва заряда в $1/\sin^2 \beta$ раз, по сравнению с плоской преградой.

Далее в докладе излагаются результаты экспериментальной проверки стойкости этих преград к действию взрыва.

Для испытаний был выбран шаровой заряд из ТГ40/60 ($\rho = 1,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $D = 7,85 \cdot 10^3 \text{ м/с}$) массой 2,95 кг, диаметром 150 мм, расположенный на расстоянии 185 мм от основания преграды и инициировавшийся в центре одним электродетонатором.

Экспериментально проверялась стойкость к действию взрыва преграды трех видов:

- пластина, защемленная по контуру (в опытах — выполненная за одно целое с цилиндром);
- пластина, опертая по контуру;
- равнотолщинный конус с углом заострения 60 или 90°.

Эти преграды в одних опытах были открыты непосредственно воздействию ударной волны и продуктов взрыва заряда, а в других закрывались накладкой из полиэтилена с плоской или конусной поверхностью со стороны заряда с углом заострения 60 или 90°.

В докладе описывается постановка опытов, и приводятся фотографии преград после нагружения взрывом.

Из сравнения результатов опытов видно, что стойкость конуса к действию взрыва выше, чем у пластины такой же толщины. Так, прогибы у конуса с углом заострения 90° в ~2 раза меньше, чем у пластины той же толщины, и на нем не образуются трещины даже при уменьшении толщины конуса в 1,3 раза.

Таким образом, в результате проведенной работы получено расчетом и экспериментально подтверждено, что выполнение воспринимающей импульс взрыва поверхности преграды в форме конуса позволяет повысить ее стойкость (исключить образование трещин и уменьшить деформации).

THE EFFECT OF A BARRIER FORM ON ITS RESISTANCE TO EXPLOSION ACTION

M.A. LEBEDEV, D.M. LEBEDEV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

In the early 80-s on consideration of one of the specific problems E.I. Zababakhin proposed to investigate the behavior of a barrier on the way of explosion products propagation in the form of a cone, which, in an explosion, can offer higher strength as compared to that of a plate.

The paper gives the calculated determination of axial pulses imparted by an explosion of an explosive charge to plane and conical barriers of equal diameter.

It is obvious from comparison of the derived relations, that the ratio of pulses in the axial direction, which is taken by the plane and cone is

$$K = \frac{I_{plate}}{I_{cone}} = \frac{1}{\sin^2 \beta},$$

where: I_{plate} — a pulse imparted to a round plane plate;

I_{cone} — a pulse imparted to a conic barrier with an angle 2β .

It follows from this relation that the usage of a barrier in the form of a cone makes it possible to lower the acting axial pulse from charge explosion by a factor of $1/\sin^2 \beta$, as compared to the plane barrier.

Then discussed in the paper are the results of experimental verification of these barriers' resistance to explosion action.

A ball charge made of RDX 40/60 ($\rho = 1.68 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $D = 7.85 \cdot 10^3 \text{ m/s}$) of mass 2.95 kg, diameter 150 mm, positioned at a distance of 185mm from the barrier basis and initiated in the center by one electric detonator was chosen for tests.

The resistance to explosion action was experimentally verified for the barrier of three types:

- a plate restrained over contour (in experiments — made solid with a cylinder);
- a plate supported on four sides;
- equally thick cone with an angle of 60 or 90°.

In some experiments these barriers were opened for direct action of shock waves and charge explosion products, and in other experiments they were closed by a polyethylene protection with plane or conic surface from the side of a charge with an angle of 60° or 90°.

The paper describes staging of experiments and gives photos of the barriers after explosion loading.

It is obvious from comparison of the experimental results, that the resistance of a cone to explosion action is higher than that of the plate with the same thickness. Then, deflections of the cone with an angle of 90° is about half as large as that of the plane with the same thickness, and cracks are not formed on it even with reducing the cone thickness by a factor of 1.3.

Therefore, as a result of the performed work it has been calculated and experimentally confirmed that the resistance of a barrier surface taking up an explosion pulse is heightened if it is made in the form of a cone (cracks formation is to be excluded and deformation is to be reduced).



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ В ПОЛУКОЛЬЦАХ ИЗ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ВВ

С.Н. ЛЮБЯТИНСКИЙ, С.В. БАТАЛОВ,
А.Ю. ГАРМАШЕВ, В.Г. ИСРАЭЛЬЯН,
О.В. КОСТИЦЫН, Б. Г. ЛОБОЙКО, В.А. ПАШЕНЦЕВ,
В.А. СИБИЛЕВ, Е.Б. СМИРНОВ, В.П. ФИЛИН

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Распространение детонации в полукольцах их нечувствительного ВВ (ИНЕ) было исследовано при помощи метода электроконтактных датчиков. Ширина полуколец была 60 мм, а их торцы были закрыты стальными пластинами. Наружный радиус полуколец был 60 мм, а внутренний R , варьировался от 30 до 50 мм. Внутренняя и наружная поверхности полуколец были закрыты облицовками из плексигласа или стали. Было обнаружено, что скорость распространения детонации по внутренней поверхности стационарна с самого начала. После переходного участка длиной около 90° различие во временах выхода детонации на наружную и внутреннюю поверхности стабилизируется на уровне 0,2...2,3 мкс в зависимости от R_I материала облицовки. Это подразумевает образование стационарного детонационного режима, при котором вся зона реакции поворачивается как твердое тело. Опережающий участок фронта располагается на расстоянии 2...5 мм от внутренней поверхности и распространяется со скоростью 90...98 % от скорости стационарной детонации в зависимости от R_I и материала облицовки. В случае оболочек из плексигласа и $R_I = 50$ мм детонация затухает, повернув перед этим примерно на 90° .



ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ПРОТЯЖЕННОЙ НАГРЕТОЙ ОБЛАСТИ ВОЗДУХА

В.Н. ОХИТИН, С.С. МЕНШАКОВ

Московский Государственный Технический Университет
им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия

Известно предложение по защите объектов от воздействия ударной волны (УВ) высотного ядерного взрыва, состоящее в создании перед взрывом на неко-

торой высоте над поверхностью земли протяженного слоя частиц, поглощающих излучения. В результате воздействия на частицы опережающего светового излучения ядерного взрыва образуется слой нагретого воздуха, при взаимодействии с которым подошедшей позднее взрывной УВ происходит снижение ее параметров.

В предыдущих работах авторов на примере плоской УВ треугольного профиля аналитически и численно было показано, что в случае горячего слоя с постоянной по толщине температурой, снижение давления в проходящей УВ наблюдается лишь при температуре, превышающей некоторое критическое значение. При меньшей температуре слоя давление, по сравнению с волной, распространяющейся в воздухе с постоянной начальной температурой, возрастает.

В реальных случаях практически невозможно получить горячий слой с постоянной температурой, поэтому следует говорить о некоторой области нагретого воздуха с достаточно плавным изменением температуры на границах.

В настоящей работе проведено численное исследование влияния неоднородности распределения температуры воздуха в слое на параметры проходящей УВ. Анализ полученных результатов показывает, что при распространении УВ по областям слоя с переменной температурой происходит изменение профиля давления, а интенсивность проходящей за слой волны может оказаться как ниже, так и выше интенсивности волны, распространяющейся в однородной атмосфере.

DEFENSIVE CHARACTERISTICS HEATED AREA OF AIR

V.N. OKHITIN, S.S. MENSIAKOV

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

Known offer on protection of objects from influence of shock wave (SW) of high-altitude nucleus blast, consisting in creation before blast on a certain height on surface of land layer of particles, absorbing radiations. As a result of influences on particles overtaking light radiation of nucleus blast is formed the layer of hot air, at interaction with which later explosive SW occurs the reduction of its parameters.

In previous works the authors on example flat SW triangular profile analytically and numerically there was shown that in the case of hot layer with constant on thickness by temperature, reduction of pressure in passing SW exists only under the temperature, exceeding certain critical importance. Under smaller temperature a layer

a pressure, in contrast with wave, spreading with constant initial temperature midair, increases.

In real events practically impossible to get the hot layer with constant temperature so follows to speak of a certain area of hot air with enough fluent change the temperature on borders.

In persisting work is organized counted study of influence to spottinesses of sharing the temperature of air in layer on parameters passing SW. The analysis of got results shows that when spreading SW on areas a layer with variable temperature occurs change the profile of pressure, but intensity passing for layer of wave can turn out to be as below, so and above intensities of wave, spreading in uniform atmosphere.



ДЕТОНАЦИЯ ГАЗОВОЙ СМЕСИ В ШЕРОХОВАТЫХ ТРУБАХ И ЩЕЛЯХ

В.Н. ОХИТИН, С.И. КЛИМАЧКОВ, И.А. ПЕРЕВАЛОВ

Московский Государственный Технический Университет
им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Газодинамические параметры детонации в шероховатых каналах представляют интерес с точки зрения оценки последствий случайных взрывов, связанных с воспламенением и последующим переходом к детонации пыле- и газо-воздушных смесей в элементах технологического оборудования химического, нефтегазового, пищевого и некоторых других отраслей машиностроения. При распространении детонации в шероховатых каналах за счет трения и теплоотвода в стенки параметры на фронте волны (в плоскости Чепмена-Жуге) снижаются, по сравнению с термодинамическими, а газодинамические параметры течения за фронтом начинают отклоняться от автомодельного решения для одномерной детонационной волны.

В докладе приводятся результаты численного решения одномерной нестационарной задачи о распространении детонационной волны с постоянными (термодинамическими) параметрами на фронте (в пренебрежении потерями в узкой зоне химической реакции) при инициировании у глухого торца жесткой трубы и вдоль оси симметрии в щели между двумя параллельными пластинами с учетом трения и конвективного теплообмена со стенками. Проанализированы динамика изменения параметров за фронтом по мере распространения волны и влияние

относительного размера области задания начальных (автомодельных) условий. Показано, что с течением времени в направлении от фронта, как в трубе, так и щели начинает устанавливаться асимптотическое распределение параметров, не изменяющееся в процессе дальнейшего распространения волны. Получены численные решения для асимптотических распределений, которые в обоих случаях описываются одними и теми же обыкновенными дифференциальными уравнениями в системе координат, связанной с фронтом волны. Подобраны аналитические аппроксимации для асимптотических распределений и установлены расстояния, с которых ими можно пользоваться для описания распределения параметров за фронтом волны с достаточно высокой точностью.

DETONATION OF GAS MIXTURE IN ROUGH TUBES AND CHAPS

V.N. OKHITIN, S.I. KLIMACHKOV, I.A. PEREVALOV

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

Gas-dynamic parameters of detonation in rough channels are effective to estimate from the viewpoint of analysis of consequences from accidental explosions due to ignition and following transition to detonation of dust- and gas-air mixtures in equipment of chemical, oil, gas, food and some other industries. When detonation propagates through rough channels, the Chapman-Jouget parameters at the detonation wave front are decreased at the expense of friction and heating of walls in comparison with thermodynamic ones, and gas-dynamic conditions of flow following the front start deviating from self-same solution for one-dimensional detonation wave.

The paper presents the results of numerical simulation of one-dimensional non-stationary problem on detonation wave propagation with constant (thermodynamic) conditions at the front (assuming no losses in narrow zone of chemical reaction), when the detonation is initiated near dead end of a rigid tube and along the axis of symmetry in the gap between two parallel plates, taking into account the friction and convective heat exchange with walls. Dynamics of change of conditions following the front as the wave propagates and influence of comparative size of the area to set the initial (self-same) conditions have been analyzed. The paper shows the asymptotic distribution of conditions starts settling and then doesn't change further as the wave propagates. Numerical solutions for asymptotic distributions, which are described by the same common differential equations

in frame of reference connected with the wave front in both cases, have been obtained. Analytical approximations for asymptotic distributions have been found and distances, when they become applicable to describe the distribution of conditions following the wave front with quite high accuracy, have been determined.



УПРАВЛЕНИЕ ДЕТОНАЦИЕЙ ТВС В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

М.М. РУСАКОВ, Д.А. ПАВЛОВ

Тольяттинский государственный университет,
Тольятти, Россия

Основные показатели двигателя внутреннего сгорания (ДВС) мощность и удельный расход топлива зависят от детонационной стойкости применяемого топлива. Детонационная стойкость топлива определяется октановым числом (ОЧ). Чем она выше, тем выше ОЧ топлива. Изменять детонационные свойства топлива, можно вводя добавки в топливовоздушную смесь (ТВС). Экспериментальные исследования на установке УИТ-85 показали, что применение активных добавок (O_2 и H_2) уменьшают детонационную стойкость ТВС, а инертные (CO_2) ее увеличивают. Добавка в ТВС 10 % CO_2 увеличивает детонационную стойкость приблизительно на 17 единиц (от 76 до 93 и от 93 до 110).

Знание зависимостей изменения детонационной стойкости ТВС от различных факторов дает возможность рационально организовывать работу ДВС. Например, добавка водорода может обеспечить работу ДВС на сверхбедных смесях и при этом снижать удельный расход топлива и токсичность отработавших газов (ОГ). Однако уменьшение детонационной стойкости при этом уменьшает максимально достижимую мощность. Инертная добавка (CO_2) увеличивает детонационную стойкость топлива и позволяет работать ДВС на более дешевом бензине с меньшим ОЧ или увеличить степень сжатия двигателя и уменьшить удельный расход топлива.

Расчетная оценка, на основе экспериментальных данных, показала, что бензин с ОЧ 76 и добавкой CO_2 в количестве 8 % можно применять вместо бензина с ОЧ 92. В результате стоимость единицы мощности

снизится на 20—22 %. Однако при этом максимальная мощность ДВС снизится на 8 %. Оценка использования бензина А-92 с добавкой 8 % CO_2 в двигателе с увеличенной степенью сжатия (до 11) заметной выгоды не показала (1—2 %). Однако в обоих случаях будет уменьшение токсичности ОГ особенно NO_x . При этом можно отметить, что высокое октановое число требуется при работе двигателя только на малых оборотах, вследствие чего потери мощности на больших оборотах может не быть, а для упрощения конструкции возможна замена CO_2 на холодные ОГ.

CONTROL OF DETONATION FAM IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

M.M. RUSAKOV, D.A. PAVLOV

Tolyatti state university, Toliatti, Russia

The basic parameters of engine (ICE) power and a specific consumption of fuel depend on knock value of used fuel. Knock value of fuel is determined by octane value (OV). The it is higher, the above OV fuel. To change detonation properties of fuel, it is possible using different components in FAM. Experimental researches on installation УИТ-85 have shown, that application of add activations (O_2 and H_2) reduce knock value FAM, and inert (CO_2) it augment. The component in FAM 10 % CO_2 augments knock value approximately by 17 units (from 76 up to 93 and from 93 up to 110).

The knowledge of relations of change of knock value FAM from different factors enables to organize activity ICE rationally. For example, the component of hydrogen may ensure the functioning ICE on lean mixtures and thus to reduce a specific consumption of fuel and toxicity of exhaust gases (EG). However reduction of knock value thus reduces maximum accessible power. Inert additive (CO_2) augments knock value of fuel and allows to work ICE on cheaper benzine with smaller OV or to increase intensity of compression of the engine and to reduce a specific consumption of fuel.

The computational estimation, on the basis of experimental data, has shown, that benzine with OV 76 and component CO_2 in quantity of 8 % can be applied instead of benzine with OV 92. In outcome the cost of a power unit will decrease on 20—22 %. However thus maximum power ICE will decrease on 8 %. The estimation of use of benzine OV-92 with the component of 8 % CO_2 in the

engine with the increased intensity of compression (up to 11) has not shown noticeable profit (1—2 %). However in both cases there will be a reduction(decreasing) of toxicity EG especially NO_x . Thus it is possible to mark, that high octane value is required at engine run only on low speeds owing to what a power loss on high speed may not be, and for simplification of a design replacement CO_2 on cold EG is possible.



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЕРЕСЖАТОЙ ДЕТОНАЦИИ

П.И. ЗУБКОВ, П.И. ИВАНОВ, Л.А. ЛУКЬЯНЧИКОВ,
Н.Г. СКОРОБОГАТЫХ, К.А. ТЕН

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

А.М. КАРТАШОВ, В.Г. СВИХ

Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

Экспериментальное исследование проводимости продуктов детонации взрывчатых веществ актуально по сегодняшний день. Интерес вызывают как изучение возникновения детонационной проводимости, так и задачи исследования детонационных и ударно-волновых процессов методом электропроводности.

В настоящей работе представлен материал экспериментального исследования проводимости продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ насыпной плотности: гексогена, октогена, тротила, ТЭНа. Измерения проводимости были выполнены для случаев нормальной и пересжатой детонации электроконтактным методом. По результатам измеренной проводимости восстанавливалось распределение электропроводности за фронтом детонации.

Экспериментальная сборка представляла собой цилиндрический заряд исследуемого взрывчатого вещества с коаксиальной измерительной ячейкой. Случай пересжатия осуществлялся при помощи внешнего заряда взрывчатого вещества (гексопласта) с большей плотностью и скоростью детонации по отношению к исследуемым веществам. Скорость детонации гексопласта 7,7 км/с, при этом квадрат отношения скорости нормальной детонации гексопла-

ста к скорости нормальной детонации исследуемого вещества равны: для октогена 1,25, для гексогена 1,54, для ТЭНа 2,1, для тротила 3,2.

В работе обсуждаются механизмы возникновения проводимости при детонационных и ударно-волновых процессах. Для выяснения механизма возникновения проводимости дополнительно к исследованию взрывчатых веществ были проведены эксперименты по измерению проводимости «инертных» органических веществ при ударно-волновом нагружении. Исследуемыми веществами были выбраны порошковые: стеариновая кислота и стеарат серебра. Измерения проводились в аналогичной коаксиальной постановке. Для сжатия исследуемых веществ применялись взрывчатые вещества: ТЭН, гексопласт.

Результаты проведенных исследований подтвердили наличие двух зон проводимости: зоны неравновесной высокой электропроводности и зоны остаточной равновесной электропроводности. Для каждого исследованного взрывчатого вещества получены распределения электропроводности за фронтом нормальной и пересжатой детонации. Реализованное пересжатие детонации заметно повышает максимальное значение электропроводности, при этом ширина пика электропроводности не изменилась. Для октогена значение увеличилось в 3 раза, для гексогена в 18 раз, для тротила в 14 раз, для ТЭНа в 35 раз.

ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF EXPLOSION PRODUCTS OF CONDENSED EXPLOSIVES AT OVERPRESSED DETONATION

P.I. ZUBKOV, P.I. IVANOV, L.A. LUK'YANCHIKOV,
N.G. SKOROBOGATYH, K.A. TEN

Lavrentiev Institute of Hydrodynamics,
Siberian Division, RAS, Novosibirsk, Russia

A.M. KARTASHOV, V.G. SVIKH

Novosibirsk state university, Novosibirsk, Russia

Experimental research of conductivity of detonation products of explosives is issue of the day till today. Both analysis of originating of detonation conductivity and research problem of detonation and shock wave processes by a method of electrical conductivity are exciting .

In the present paper the material of experimental research of conductivity of detonation products of condensed explosives with powdered density such as RDX, HMX, PETN and trotyl is submitted. The measurements of con

ductivity were made for cases of normal detonation and overpressed detonation by an electrocontact method. By results of measured conductivity the distribution of electrical conductivity behind front of detonation was restored.

The experimental assembly is a cylindrical charge of an investigated explosive with a coaxial measuring cell. The overpressure case was realized by an external charge (hexoplast) with greater density and speed of detonation in relation to investigated matters. Detonation velocity of hexoplast is 7,7 km/s, thus a square of normal detonation velocity of hexoplast divided by normal detonation velocity of investigated matter is equal: 1,25 for HMX, 1,54 for RDX, 2,1 for PETN, 3,2 for trotyl.

In activity the mechanisms of originating of conductivity at detonation and shock wave processes are considered. To find out the mechanism of originating of conductivity in addition to research of explosives the experiments on measurement of conductivity of «inert» organic matters at shock wave loading were carried out. The matters selected to investigate are powdered stearin and argentum stearate. The measurements were conducted in the similar coaxial statement. The explosives applied to load investigated matters were PETN and hexoplast.

The results of the conducted researches have confirmed presence of two conduction zones: non-equilibrium high electrical conductivity zone and residual equilibrium electrical conductivity zone. For each investigated explosive the distributions of electrical conductivity behind front of normal and overpressed detonation are obtained. Realised detonation overpressure increases maximum value of electrical conductivity essentially, at that electrical conductivity peak width has not changed. The value was increased in 3 times for HMX, for a RDX in 18 times for RDX, in 14 times for trotyl, in 35 times for PETN.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБРАЗЦАХ ИЗ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ВВ

Б.Г. ЛОБОЙКО, В.П. ФИЛИН, О.В. КОСТИЦЫН,
С.В. БАТАЛОВ, С.Н. ЛЮБЯТИНСКИЙ, Е.Б. СМЕРНОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Исследовано распространение стационарной детонации в цилиндрических образцах различного диаметра из нечувствительного взрывчатого вещества. По проставке участка развития, составляющего (d —

диаметр исследуемого образца) и установления стационарного режима детонации фотохронографом регистрировалась форма детонационного фронта. Полученные формы фронта в области от оси заряда до половины его радиуса обладают практически постоянной кривизной и поэтому были аппроксимированы уравнением окружности. В результате получена единая зависимость стационарной скорости детонации от кривизны фронта детонационной волны $D(k) = D_0(1 + 170k)/(1 + 180k)$ где: D_0 — скорость детонации при нулевой кривизне фронта детонационной волны; k — кривизна фронта стационарной детонационной волны. Существование однозначной зависимости $D(k)$ является основанием для применимости модели DSD для исследуемого взрывчатого состава.



ОЦЕНКИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ГОРЕНИЯ ИЗ «ГОРЯЧИХ ТОЧЕК» ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОМ ИНИЦИИРОВАНИИ ТАТЬ

К.Ф. ГРЕБЕНКИН, М.М. ГОРШКОВ, А.Л. ЖЕРЕБЦОВ,
В.В. ПОПОВА, М.В. ТАРАНИК

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Известно, что при ударноволновом инициировании детонации гетерогенных конденсированных взрывчатых веществ (ВВ) химические реакции начинаются в так называемых «горячих точках». Время протекания реакции в ударно сжатом гетерогенном ВВ, $\Delta\tau$, определяется скоростью распространения волны из горячих точек D : $\Delta\tau \approx \delta/D$, где δ — характерное расстояние между горячими точками. Различные оценки величины D дают: $D \approx 10 \div 100$ м/с.

Однако в работе [1] было получено расчетное значение скорости волны горения в ударно сжатом ТАТЬ порядка $0.5 \div 1.0$ м/с, что указывает на необходимость существенного уточнения использованной физической модели.

В данной работе предлагается уточненная модель распространения волны горения из горячих точек в ТАТЬ. По сравнению с моделью [1] существенным образом модифицированы как скорость реакции разложения ТАТЬ, на основании оценок по методу молекулярной динамики, так и теплопроводность ВВ, кото

рая оценивалась по результатам измерения электропроводности ТАТБ при ударноволновом нагружении.

В результате удалось численно воспроизвести наблюдаемую в экспериментах сильную зависимость скорости волны горения от интенсивности инициирующей ударной волны. При этом сами значения скорости получились на два порядка выше, чем в расчетах [1], что также согласуется экспериментальными данными.

Ссылки

1. Tarver C.M., Nichols A.L.. Hot Spot Growth in a Thermal–Chemical–Mechanical Reactive Flow Model For Shock Initiation of Solid Explosives // Proc. Eleventh Symposium (International) on Detonation. — 1998. — P. 599—605.

ESTIMATIONS OF THE VELOCITY OF A BURNING WAVE PROPAGATED FROM THE «HOT SPOTS» IN SHOCK INITIATED TATB

K.F. GREBYONKIN, M.M. GORSHKOV, V.V. POPOVA,
M.V. TARANIK, A.L. ZHEREBTSOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

It is known that chemical reactions in shock initiated heterogeneous high explosives (HE) occur in so called «hot spots». The reaction time $\Delta\tau$ determined by the velocity of a burning wave D propagated from the hot spots, so $\Delta\tau \approx \delta/D$, where δ is a typical distance between two hot spots. Various estimations shows that $D \approx 10 \div 100$ m/s.

However the velocity of a burning wave in shock pressed TATB calculated in [1] was in the range of 0.5–1.0 m/s. Therefore the physical model used in [1] needs to be more precise.

The goal of this work was to build more specified model of a burning wave propagation from the hot spots in a shock pressed TATB. Comparing with [1] there are two main differences: 1) the reaction rate, which was calculated by the molecular dynamics method; 2) and the thermal conductivity of TATB, which was estimated from the experimentally observed electronic conductivity of shock pressed TATB.

As a result, the calculated burning wave velocity was strongly dependent from the intensity of initiated shock wave and the values of burning wave velocity were in the range of 10–100 m/s, which is in well agreement with experimental data.

References

1. Tarver C.M., Nichols A.L. Hot Spot Growth in a Thermal–Chemical–Mechanical Reactive Flow Model For Shock Initiation of Solid Explosives // Proc. Eleventh Symposium (International) on Detonation. — 1998. — P. 599—605.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕРЫВАНИЯ ДЕТОНАЦИИ В ПЛОСКИХ ОБРАЗЦАХ НИЗКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ВВ С ПОМОЩЬЮ ИНЕРТНЫХ ПРОКЛАДОВ

С.М. ДОЛГИХ, В.Г. ИСРАЭЛЬЯН,
М.В. МАКЕЙКИН, А.И. ПОГРЕБОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В работе представлены результаты экспериментальных исследований эффективности применения прокладок из инертного материала на прерывание детонации в образцах низкочувствительного ВВ. Эксперименты проведены на плоских образцах с применением электроконтактной и оптической методик.

Исследовано влияние на прерывание детонации в образцах ВВ следующих параметров:

- конфигурации инертных прокладок;
- материала и плотности образцов низкочувствительного ВВ;
- величины зазора между образцами.



ПРЕДВЗРЫВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ БЫСТРОМ ИНИЦИИРОВАНИИ БРИЗАНТНЫХ ВВ

В.И. ТАРЖАНОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Цель обзора — выявить сходство и различие предвзрывных явлений в инициирующих (первичных) и бризантных (вторичных) ВВ, указать на общность явлений при ударно-волновом и лазерном инициировании бризантных ВВ, обратить внимание на возможные подходы в исследовании этих явлений в бризантных ВВ.

В изучении предвзрывных явлений при быстром инициировании ВВ достигнут существенный прогресс.

В частности, ведутся широкие исследования разрушения твердого тела при ударно-волновых воздействиях. Разрушение ВВ — это стадия процессе его инициирования, необходимая для последующего эффективного ввода энергии. Установлено, что разрушение вещества носит локальный характер. Диссипация энергии реализуется в так называемых горячих точках. На стадии зарождения таких точек велика роль дислокаций или скоплений дислокаций. Ключевым звеном на твердотельной стадии процесса являются электронные возбуждения. Локальное сужение запрещенной зоны вблизи дислокаций при сжатии резко увеличивает вероятность электронного возбуждения и разрыва N—NO₂-химической связи.

При прямом лазерном инициировании бризантных ВВ также изучена стадия их разрушения — кратерообразование. Установлено существование порога кратерообразования. Показано, что на пороге наблюдается резкое изменение оптических характеристик ВВ, которое проявляет себя через срезание задней части лазерного импульса. Только 1 % необходимой для инициирования энергии поглощается на первой, допороговой, линейной относительно мощности излучения, твердотельной стадии процесса. Это пороговое явление трактуется как оптический пробой ВВ. При энергиях выше порога реализуется плазменная стадия процесса.

Высказана гипотеза о возможной конкурентности процессов — оптического пробоя ВВ и его химического разложения. Проявление одного из механизмов может определяться степенью дефектности (пористостью, дисперсностью) ВВ и, очевидно, его реакционной способностью.

Предвзрывные явления в бризантных ВВ, таким образом, более многостадийны по сравнению с таковыми в азидов металлов. Целесообразно изучение как твердотельной, так и плазменной стадий. Исследования первой из стадий возможно с использованием метода импульсного радиолиза, эффективность кото-

рого показана при изучении азидов металлов. Вторая стадия должна исследоваться с варьированием степени дефектности кристаллов ВВ в свете названной выше гипотезы о конкурентности процессов. Нельзя забывать о том, что при работе с размерами образцов ВВ, меньшими, чем его критический диаметр, химическое разложение вещества не будет приводить к взрыву, и, следовательно, само может быть отнесено к предвзрывным явлениям.



PRE-EXPLOSION PHENOMENA UNDER FAST INITIATION OF HIGH EXPLOSIVES

V.I. TARZHANOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

Goal of this overview is to identify similarity and difference in pre-explosion phenomena in initiating (primary) and high (secondary) explosives, to indicate similarity of phenomena in the case of shock-wave and laser initiation of high explosives (HE), as well as to point to possible approaches in studying these phenomena in HE.

Studies of pre-explosion phenomena under fast initiation of HE are in good progress.

In particular, destruction of a solid body by shock-wave impact is being extensively studied. HE destruction, a stage in the HE initiation process, is necessary for the follow-on effective energy contribution. Matter destruction is stated to bear local character. Energy is dissipated in the so-called hot spots. At the stage of hot-spots nucleation, dislocations or accumulation of dislocations play very important role. Electronic excitation is the key point at the solid stage of the processes. Compression-induced local narrowing of the prohibited zone near dislocations sharply increases probability of electronic excitation and breakage of N—NO — chemical bond.

In the case of direct laser initiation of HE, consideration is also given to the stage of HE destruction, i. e. to cratering. Cratering threshold is stated to exist. Optical characteristics of HE are demonstrated to sharply change at the threshold. This manifests itself through the laser-pulse tail cutoff. Only 1% of energy, necessary for initiation, is absorbed at the first pre-threshold, linear (relative to radiation power) solid phase of the process. This threshold phenomenon is understood as optical breakdown of HE. With above-threshold energies, the plasma stage of the process is realized.

Forwarded is the hypothesis on possible rivalry of processes, i.e. optical breakdown and chemical decomposition of HE. Prevalence of any mechanism can depend on HE defectiveness (porosity, dispersity) and obviously, on HE reactivity.

Therefore, pre-explosion phenomena in HE have more stages, if compared with those in azides of metals. Both solid, and plasma stages are worth studying. The first stage can be studied by the method of pulsed radiolysis whose efficiency was demonstrated in the study of metal azides. In studies of the second stage, defectiveness of HE crystals is to be varied in the light of the above hypothesis on processes rivalry. One is to keep in mind that if HE sample size is less than its critical diameter, chemical decomposition of the matter will not result in explosion and thus can be referred to pre-explosion phenomena.



ДЕТОНАЦИЯ В ПРОПАНОВОЗДУШНЫХ СОСТАВАХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПАХ ИНЖЕКЦИИ ГОРЯЧИХ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ

В.И. ТАРЖАНОВ, И.В. ТЕЛИЧКО, В.Г. ВИЛЬДАНОВ,
В.И. СДОБНОВ, А.Е. МАКАРОВ, А.В. ВОРОБЬЕВ,
И.Г. КОРЕЦКИЙ, С.Л. МУХИН, А.Н. ГРАЧЕВ,
В.А. МАТКИН, В.А. ПОТАШНИКОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В РФЯЦ — ВНИИТФ предложены способ и установка ТСД–01М для исследования возникновения детонации в газовых смесях при инъекции в них горячих продуктов детонации.

В части исследуемого объема ударной трубы установки с внутренним диаметром 402 мм и длиной 17 м создается смесь исходного пропановоздушного состава с горячими продуктами детонации (ГПД). ГПД инжестируются в основной коаксиальный объем установки из вспомогательной малой трубы (с наружным диаметром 159 мм), перфорированной на части длины отверстиями, при детонации в ней такого же пропановоздушного состава. Отверстия на малой трубе расположены на длине 5,5 м гексагонально по 8 отверстий в ряду с шагом между рядами 55 мм. В экспериментах варьировалась концентрация пропана в исходном составе η и диаметр отверстий.

В дополнение к ранее опубликованным результатам, полученным при диаметре отверстий малой трубы 7 мм, проведены эксперименты с диаметром части отверстий, изменяющимся от максимального диаметра 9 и 12 мм у торца основной трубы до 7 мм в конце перфорированного участка.

При увеличении темпа ввода ГПД за счет увеличения диаметра отверстий обнаружено расширение концентрационных пределов возникновения детонации. Для диаметра 12 мм это $3,2 \leq \eta \leq 7\%$ об., для диаметра 9 мм $3,2 \leq \eta \leq 6\%$ об., в то время как для диаметра 7 мм диапазон η был $3,3 \leq \eta \leq 5\%$ об. Построены корреляции вводимой с ГПД энергии с мощностью ввода и с задержкой возникновения локального взрыва, развивающегося в детонацию. При повышенной градиентности реализованных динамических распределений ГПД по длине установки обнаружена смена механизма возникновения детонации при отходе от стехиометрии. Возникновение ударной волны и ее разгон до детонации становится более предпочтительным, чем возникновение локального взрыва при вводе ГПД.



DETONATION IN PROPANE–AIR COMPOSITIONS AT ELEVATED INJECTION RATE OF HOT DETONATION PRODUCTS

V.I. TARZHANOV, I.V. TELICHKO, V.G. VIL'DANOV,
V.I.SDOBNOV, A.E. MAKAROV, A.V. VOROBIEV,
I.G. KORETSKY, S.L. MUKHIN, A.N. GRACHEV,
V.A. MATKIN, V.A. POTASHNIKOV

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

RFNC — VNIITF proposed both the method, and facility TSD–01M intended to study detonation onset in gas mixtures when hot detonation products are injected.

The initial propane–air composition is mixed with hot detonation products (HDP) in one part of the volume of the shock tube with 402–mm internal diameter and 17–m length. Hot detonation products are injected into the main coaxial volume of the facility from the auxiliary small tube (with 159–mm external diameter and perforations at one portion of the tube) with the same propane–air composition detonated inside it. On the small tube, holes are arranged at the 5.5–m portion with 8 holes in each row with 55–mm spacing between rows. Experiments used

different concentrations of propane in the initial composition η and different diameters of holes.

Previously published results obtained with 7-mm diameter of holes in the small tube were supplemented by experiments in which part of holes had the diameter changing from the maximal one, 9 and 12 mm, near the face end of the main tube down to 7 mm at the end of the perforated portion.

Increased rate of HDP introduction due to enlarged diameter of holes resulted in the expanded range of concentrations for detonation onset. For 12-mm diameter, this is $3.2 \leq \eta \leq 7\%$ vol., for 9-mm diameter, this is $3.2 \leq \eta \leq 6\%$ vol., but for 7-mm diameter, the range η is $3.3 \leq \eta \leq 5\%$ vol. Correlations between energy, introduced with hot detonation products, and introduction power, and the delay in the onset of the local explosion developing into detonation were constructed. With higher gradient of dynamic distributions in hot detonation products along the facility, mechanism of detonation onset was revealed to change with the removal from stoichiometry. Occurrence of the shock wave and its up-to-detonation acceleration becomes more preferable than local explosion onset when hot detonation products are introduced.

Рассматривается задача об измерении пространственного распределения плотности при детонации цилиндрических зарядов конденсированных ВВ с помощью синхротронного излучения (СИ). Используемый для измерений детектор регистрирует интегральную характеристику дозы излучения, прошедшего по фиксированному направлению через исследуемый объект. Для получения пространственного распределения изменения интенсивности использован линейный однокоординатный рентгеновский детектор DIMEX. Предложен и реализован метод решения обратной задачи по восстановлению двумерного непрерывного распределения плотности осесимметричных объектов.

Проведенные первые эксперименты по измерению прошедшего излучения показывают возможность и перспективность используемой методики для определения пространственного распределения плотности в детонационных процессах. Дальнейшее улучшение параметров детектора (контрастности и отношения сигнал/шум) позволит получить более точные значения распределения плотности в детонационных процессах.



ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЗА ФРОНТОМ ДЕТОНАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П.И. ЗУБКОВ, Л.А. ЛУКЬЯНЧИКОВ, Е.В. МАМОНТОВ,
Л.А. МЕРЖИЕВСКИЙ, Э.Р. ПРУУЭЛ,
К.А. ТЕН, В.М. ТИТОВ

Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск-90, Россия

В.М. АУЛЬЧЕНКО, В.В. ЖУЛАНОВ,
Г.Н. КУЛИПАНОВ, М.А. ШЕРОМОВ
ИЯФ СО РАН, Новосибирск, Россия

О.В. ЕВДОКОВ, И.Л. ЖОГИН, Н.З. ЛЯХОВ,
Я.Б. ПИРОГОВ, Б.П. ТОЛОЧКО, М.Р. ШАРАФУТДИНОВ

ИХТТМ СО РАН, Новосибирск, Россия

РАЗРАБОТКА АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ПУЧКАХ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ДЕТОНАЦИОННЫХ И УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ

О.В. ЕВДОКОВ, И.Л. ЖОГИН, Ю.М. КАМЕНЕЦКИЙ,
Н.З. ЛЯХОВ, Б.П. ТОЛОЧКО, М.Р. ШАРАФУТДИНОВ
Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН,
Новосибирск-128, Россия

В.М. АУЛЬЧЕНКО, В.В. ЖУЛАНОВ, Г.Н. КУЛИПАНОВ,
М.Г. ФЕДОТОВ, М.А. ШЕРОМОВ, Л.И. ШЕХТМАН
Институт ядерной физики им. Будкера СО РАН,
Новосибирск-90, Россия

П.И. ЗУБКОВ, Л.А. ЛУКЬЯНЧИКОВ,
К.А. ТЕН, В.М. ТИТОВ

Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск-90, Россия

Статус. В Сибирском центре синхротронного излучения (СИ) на базе ИЯФ смонтирована и запущена в эксплуатацию экспериментальная станция «Экс

тремальные состояния вещества» для исследования детонационных и ударно-волновых процессов [1]. Предварительные эксперименты показали возможности разрабатываемой установки: временное разрешение для измерения распределения плотности порядка 20 нс, точность измерения плотности порядка 5 %, временное разрешение для измерения малоуглового рассеяния и дифракции — 125 нс при экспозиции 1 нс [2]. Ожидаемое пространственное разрешение для измерения плотности 0,1×1 мм. На станции выполнена серия экспериментов по исследованию детонации в различных ВВ, а также по исследованию воздействия ударных волн на различные вещества. [3]

В настоящее время мы развиваем пять методических направлений:

1. измерение распределения плотности (рентгеновская микротомография);
2. малоугловое рентгеновское рассеяние;
3. рентгеновская дифрактометрия с высоким временным разрешением «дифракционное кино»;
4. рентгеновская спектроскопия
5. рентгеновская топография с наносекундным временным разрешением.

Перспективы. Наши основные планы определяются результатами работ в четырех направлениях: 1) новые источники СИ, 2) детекторы; 3) рентгеновская оптика; 4) специализированные режимы работы ускорителей. [4]

Оценки показывают, что установка на ВЭПП-3 сверхпроводящего 101-полюсного вигглера с полем 7 Т позволят получать потоки жестких гамма-квантов порядка 10^{12} фотон/мм² за время порядка одной наносекунды. Использование возможностей рентгеновской оптики и совершенных детекторов позволят поднять эксперименты по исследованию детонационных и ударно-волновых процессов на новый качественный уровень.

Ссылки

1. <http://ssrc.inp.nsk.su/>
2. Алешаев А.Н., Зубков П.И. и др. / ФГВ. — 2001. — Т. 37. — № 5. — С. 104—113. A.N. Aleshaev, M.G. Fedotov et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A467–468, 2001. — P. 990—993. A.N. Aleshaev, M.G. Fedotov, et al. Methods ibidem A470, 2001. — P. 240—244.
3. M.G. Fedotov, G.N. Kulipanov, et al. ibidem A470, Issue Part 2, — 2001. — P. 245—248. O.V.Evdokov, M.G. Fedotov, et al. ibidem A470, Issue Part 2. — 2001. — P. 236—239.
4. B.P. Tolochko, et al ibidem 2000, A448. — P. 228—233. S.I.Mishnev, B.P. Tolochko et al ibidem. — 2000, A448/(1–2). — P. 234—240.

INSTRUMENTATION FOR DETONATION AND SHOCK-WAVE INVESTIGATION BY SYNCHROTRON RADIATION

V.M. EVDOKOV, I.L. ZHOGIN, Y.M. KAMENETSKY,
N.Z. LYAKHOV, M.R. SHARAFUTDINOV, B.P. TOLOCHKO

Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry,
Novosibirsk–128, Russia

V.M. AULCHENKO, V.V. ZHULANOV, L.I. SHEKHTMAN,
M.G. FEDOTOV, G.N. KULIPANOV, M.A. SHEROMOV

Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk–90, Russia

L.A.LUK'YANCHIKOV, V.M.TITOV, K.A.TEN, P.I.
ZUBKOV

Physics Lavrentiev Institute of Hydrodynamics

Status. The «Extreme conditions» beamline was constructed [1]. The purpose is «in situ» investigation of detonation and shock waves. The tests have shown the parameters of the beamline: 1) spectral range 10—40 keV; 2) flux 10^9 ph/ns/mm²; 3) exposure time 1 ns; 4) time resolution for detonation investigation by absorption measurements in local point — 20 ns; 5) time resolution for detonation investigation by absorption measurements in all sample — 250 ns; 6) time resolution of the SAXS and WAXS —125 ns; 7) space resolution for absorption measurements — 100-100 microns, for the SAXS and WAXS experiments 0,1×1 mm [2, 3].

There are few types of experiments we have made:

- 1) X-ray microtomography;
- 2) time resolved WAXS and SAXS;
- 3) time resolved XAFS;
- 4) X-ray topography.

Perspectives. The perspectives depends from success of four directions of activity: 1) insertion devises; 2) positionsensitive X-ray detectors; 3) X-ray optics; 4) storage ring novel operation modes [4].

1. At fist the flux will be increased in 10 times after 5T wiggler installation. The installation of 101 pole superconductor 7 T wiggler will gives 10^{12} ph/ns/mm². It will be the basis for novel time resolved experiments with picosecond and femtosecond time resolution.

2. Two detectors will be developed: 1) microstrip ionization chamber (MSIC); 2) microstrip solid state detectors (MSSD).

3. Focusing optics needs for improving the quality of the beam.

4. The novel modes of operation of the storage ring are need for receiving more good time resolution.

References

1. <http://ssrc.inp.nsk.su/>
2. Алешаев А.Н., Зубков П.И. и др. / ФГВ. — 2001. — Т. 37. — № 5. — С. 104—113. A.N. Ale-shaev, M.G. Fedotov et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A467–468, 2001. — P. 990—993. A.N. Ale-shaev, M.G. Fedotov, et al. Methods *ibidem* A470, 2001. — P. 240—244.
3. M.G. Fedotov, G.N. Kulipanov, et al. *ibidem* A470, Issue Part 2. — 2001. — P. 245—248. O.V. Evdokov, M.G. Fedotov, et al. *ibidem* A470, Issue Part 2. — 2001. — P. 236—239.
4. В.Р. Толочко, et al *ibidem* 2000, A448. — P. 228—233. S.I. Mishnev, В.Р. Толочко et al *ibidem*. — 2000, A448/(1–2). — P. 234—240.



**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ПАРАМЕТРОВ ДЕТОНАЦИИ
ПО ОБОБЩЕННЫМ УДАРНЫМ АДИАБАТАМ
ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА**

В.А. ВЕРЕТЕННИКОВ, В.С. ТРОФИМОВ

Институт структурной макрокинетики
и проблем материаловедения РАН, Москва, Россия

Предлагается метод предварительной оценки параметров детонации конденсированного взрывчатого вещества (ВВ) только на основании данных о термодинамических параметрах самого ВВ и продуктов взрыва (ПВ) в конденсированном состоянии при нормальном давлении. По этим данным восстанавливается уравнение детонационной адиабаты:

$$E(P, V) - E_0 = (P + P_0)(V_0 - V)/2,$$

где $E(P, V)$ — удельная внутренняя энергия ПВ, P — давление, V — удельный объем, E_0 и V_0 — удельные внутренняя энергия и объем ВВ в начальном состоянии, соответственно. Функция $E(P, V)$ восстанавливается в виде:

$$E = E_S + (P - P_S)V/\Gamma,$$

где E_S , P_S и Γ — функции V , представляющие, соответственно, удельную внутреннюю энергию, давление и коэффициент Грюнайзена на ударной адиабате конденсированных продуктов взрыва. Эти функции определяются из уравнения обобщенной ударной адиабаты:

$$P_S = (a^2 b / V_P) X F(X) / (1 - X)$$

и ассоциированных с нею выражений [1]:

$$E_S = E_P + (P_S - P_0)(V_P - V)/2;$$

$$\Gamma = \Gamma_P(1 - X^3) + \Gamma_1(X - X^3) + \Gamma_2(X^2 - X^3) + 2(b - 1)X^3,$$

где $b = 4/3$, V_P и a — удельный объем и объемная скорость звука смеси ПВ в конденсированном состоянии при $P = P_0$; $X = b(V_P - V)/V_P$; $F(X) = (1 - gX + hX^2)^2$; g и h — константы; Γ_P — коэффициент Грюнайзена продуктов взрыва при $V = V_P$; $P = P_0$; Γ_1 и Γ_2 — константы. Γ_1 и Γ_2 , также как g и h , рассчитываются, исходя из естественных физических предположений [1].

Параметры детонации соотносятся с параметрами точки Чепмена–Жуге, рассчитанными по детонационной адиабате. В качестве примера приведены результаты расчета для гексогена.

Ссылки

1. Trofimov V.S., An Optimum Choice of Three-Parameter Expressions for Approximation of Dynamic Adiabates of the SHS and Other Condensed Systems. / Int. J. SHS. — 2000, vol. 9. — №. 3. — P. 269—279.

**DETONATION PARAMETERS
FROM GENERALIZED SHOCK ADIABAT**

V.A. VERETENNIKOV, V.S. TROFIMOV

Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science,
Russian Academy of Sciences

We propose a novel method for estimating the parameters of detonation in condensed explosive (CE) based on thermodynamic data for CE and its explosion products (EP) that are present in their condensed state under normal pressure. These data may be used to restore the detonation adiabat:

$$E(P, V) - E_0 = (P + P_0)(V_0 - V)/2,$$

where $E(P, V)$ is the specific internal energy of EP, P is pressure, V is the specific volume, E_0 and V_0 are the specific internal energy and volume of CE in its starting state, respectively. The $E(P, V)$ function can also be presented in the form:

$$E = E_S + (P - P_S)V/\Gamma,$$

where $E_S(V)$, $P_S(V)$, and $\Gamma(V)$ are the specific internal energy, pressure, and the Grüneisen parameter in the shock adiabat for condensed EP, respectively. These functions can be determined from the equation of generalized shock adiabat:

$$P_S = (a^2 b / V_P) X F(X) / (1 - X)$$

and associated expressions [1]:

$$E_S = E_P + (P_S - P_0)(V_P - V) / 2;$$

$$\Gamma = \Gamma_P(1 - X^3) + \Gamma_1(X - X^3) + \Gamma_2(X^2 - X^3) + 2(b-1)X^3,$$

where $b = 4/3$, V_P and a are the specific volume and the volume sound speed in condensed EP-mixture at $P = P_0$, $X = b(V_P - V)/V_P$, $F(X) = (1 - gX + hX^2)^2$; g , h are some constants, Γ_P is the Grüneisen parameter for EP at $V = V_P$, $P = P_0$; and Γ_1 , Γ_2 are some constants. Γ_1 and Γ_2 as well as g and h can be calculated under some reasonable physical assumptions [1].

Detonation parameters agree with Chapman–Jouguet point ones calculated from detonation adiabat. Calculating data for RDX are presented as an example.

References

1. V.S. Trofimov, An Optimum Choice of Three-Parameter Expressions for Approximation of Dynamic Adiabates of the SHS and Other Condensed Systems, *Int. / J. SHS*. — 2000, vol. 9. — №. 3. — P. 269—279.



ОЦЕНКА ДАВЛЕНИЙ В АМПУЛЕ ПРИ СИНТЕЗЕ В НЕЙ СУЛЬФИДА ЦИНКА, ИНИЦИИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОВЗРЫВОМ ПРОВОЛОЧКИ

Ю.А. Гордополов, В.С. Трофимов, О.В. Трофимов
ИСМАН, Черногловка, Россия

В работе [1] была теоретически обоснована возможность детонационных режимов синтеза в безгазовых экзотермических смесях порошков подобных тем, которые обычно применяются при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС) и сформулированы критерии, которым должны удовлетворять системы порошков для наблюдения такого процесса. В [2] описаны качественные опыты по ини-

цированию электровзрывом проволочки химической реакции в системе Zn–S, удовлетворяющей вышеупомянутым критериям. Опыты проводились в ампуле сохранения, которая имела форму толстостенного (5 мм) стального пенала с тонкой (2 мм) крышкой и рабочим объемом $20 \times 20 \times 60$ мм³. При этом наблюдались два вида процессов. Процесс первого вида характеризуется значительной остаточной деформацией крышки ампулы и низкой (до 50°C) остаточной температурой, процесс второго вида — отсутствием такой деформации и высокой (выше 100 °C) остаточной температурой. В [2] процесс первого вида отождествлен с детонацией, а процесс второго вида — с горением смеси Zn–S (процесс СВС).

Настоящая работа посвящена верхней термодинамической оценке давления, которое может иметь пар указанной реагирующей смеси при ее медленном горении, и нижней оценке давления, которое необходимо для той деформации крышки ампулы, которая наблюдалась при процессе первого вида. Установлено, что первая оценка в несколько раз меньше второй. Отсюда сделан вывод, что наблюдаемая деформация крышек ампул возможна только при сверхзвуковом процессе, т.е. при детонации смеси Zn–S.

Результаты оценок можно рассматривать как косвенное экспериментальное подтверждение возможности безгазовой детонации в рассматриваемой системе.

Ссылки

1. Гордополов Ю.А., Трофимов В.С., Мержанов А.Г. О возможности безгазовой детонации конденсированных систем. // ДАН. — 1995. — Т. 341. — № 3. — с. 327—329.
2. Торунов С.И., Трофимов В.С. Две возможные структуры детонационной волны в смеси Zn–S. // Химическая физика процессов горения и взрыва. XII Симпозиум по горению и взрыву, часть II, Черногловка. — 2000. — С. 165—166.

THE PRESSURE ATTAINED IN A RECOVERY SYSTEM DURING SYNTHESIS OF ZNS: THEORETICAL ESTIMATION

YU.A. GORDOLOV, V.S. TROFIMOV, O.V. TROFIMOV
ISMAN, Chernogolovka, Russia

The possibility of detonation synthesis in the powder systems similar to those normally used in the so-called Self-propagating High-temperature Synthesis (SHS) was theoretically predicted in [1] along with formulation of

basic requirements to such systems. The chemical reaction in the Zn–S system (which meets the above requirements) yielding ZnS was initiated by electroblasting wire [2]. These experiments were carried out in a recovery system—a thick-walled (5 mm) steel rectangular container with a thin (2 mm) steel cover and a useful volume of $20 \times 20 \times 60 \text{ mm}^3$. In this geometry, two different processes have been observed. One is characterized by marked deformation of the cover and low (about 50°C) residual temperature while another, by the absence of cover deformation and high (above 100°C) residual temperature. The former process was identified [2] as detonation while the latter one, as combustion (conventional SHS) in the Zn–S system.

In this communication, we report on our estimates for the upper limit of pressure that could be attained during slow combustion and for the lower limit of pressure that caused the cover deformation in the first process. The former value was found to be lower by a factor of several times. Such a deformation of the cover is possible only in a supersonic process, that is, due to detonation in the Zn–S system.

Our data can be regarded as an indirect evidence for the occurrence of gasless detonation in the system under consideration.

References

1. Gordopolov Yu.A., Trofimov V.S., Merzhanov A.G. To a possibility of gasless detonation in condensed systems // *Dokl. Akad. Nauk.* — 1995. — V. 341. — № 3. — P. 327—329.
2. Torunov S.I., Trofimov V.S. Two possible structures of detonation wave in the Zn–S system // *Abstr. XII All-Russia Symp. on Comb. Explosion, Chernogolovka.* — 2000. — Part. 2. — P. 165—166.



ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ТЭНА

О.В. ХРУЛЕВА, В.П. ФИЛИН, Н.В. ГАРМАШЕВА,
Л.Н. ФИЛИНА, Б.Г. ЛОБОЙКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Для кристаллов пентаэритрит тетранитрата (ТЭНа) с использованием спектрофотометрии получена кривая поглощения (пропускания) в широком диапазоне длин волн от ультрафиолетовой до инфракрасной области (190—1100 нм).

Кристаллы ТЭНа готовили путем двойной перекристаллизации из ацетона. Идентификацию ТЭНа проводили по ИК–Фурье спектрам.

Показано, что кривая поглощения (пропускания) кристаллов ТЭНа состоит из двух характерных участков, переход между которыми имеет пороговый вид и лежит в диапазоне 300—330 нм. При длинах волн выше указанного диапазона (видимая область, ближняя ИК) поглощение излучения, в основном, зависит от дефектности и геометрических параметров кристаллов ТЭНа. При длинах волн меньше 300—330 нм для кристаллов ТЭНа наблюдается резкое падение пропускающей способности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАМИНОДИНИТРОЭТИЛЕНА (ДАДНЕ)

И.В. ЧЕМАГИНА, В.П. ФИЛИН, Н.В. ГАРМАШЕВА,
М.Б. КАЗАКОВА, Ю.А. ШАХТОРИН, Б.Г. ЛОБОЙКО

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Методами дифференциального термического (ДТА) и термогравиметрического анализов (ТГА) исследован 1,1-диамино-2,2-динитроэтилен (ДАДНЕ), известный также как FOX-7. На кривых ДТА ДАДНЕ обнаружены два эндотермических пика, которые, предположительно, соответствуют переходам между полиморфными модификациями этого соединения. Теплота низкотемпературного полиморфного перехода (около $+113^\circ\text{C}$) составила $\sim 25 \text{ Дж/г}$, высокотемпературного перехода (около $+158^\circ\text{C}$) $\sim 20 \text{ Дж/г}$.

Подтверждено наличие на кривых ДТА ДАДНЕ двух экзотермических пиков ($+207$ и $+277^\circ\text{C}$ при скорости нагрева 2°C/мин). Показано, что при нагревании выше 210°C ДАДНЕ разлагается в две стадии. Продуктом первой стадии разложения ДАДНЕ является новое взрывчатое вещество (ДАДНЕ–Т).

Сформулированы гипотезы, объясняющие полученные экспериментальные факты: перечисленные взрывчатые вещества представляют собой смеси либо разложение этих ВВ происходит в две стадии.

При перекристаллизации ДАДНЕ из ацетона, воды и водно-ацетоновой смеси получены кристаллы трех типов: удлиненные четырехгранные призмы, кристаллы ромбической формы и шестигранные призмы. Полученные кристаллы исследованы методами ИК–Фурье спектроскопии, ДТА и ТГА.

С помощью системы видео-микроскопии в реальном масштабе времени проведена видео съемка поведения кристаллов ДАДНЕ при нагревании в диапазоне

не температу 20—500 °С. Получены визуальные свидетельства преобразований кристаллов ДАДНЕ при температурах приблизительно +113 и +158 °С, которые сопровождаются распространением волн напряжения, приводящих к изменению прозрачности и растрескиванию кристаллов. При температуре выше +210 °С кристаллы ДАДНЕ теряют прозрачность, правильную геометрическую форму, изменяют цвет (желтый на светло-коричневый). При температуре выше +250 °С исследованные образцы претерпевали экзотермический переход, в результате которого образовывался темный остаток.

Проведены исследования ДАДНЕ–Т при нагревании (ДТА, ТГА), получены ИК–Фурье спектры. В температурном диапазоне 20—400 °С в ДАДНЕ–Т эндотермических процессов не зарегистрировано. При +277 °С зарегистрировано начало экзотермического разложения ДАДНЕ–Т. По результатам ИК–Фурье спектроскопии высказано предположение о том, что ДАДНЕ–Т является продуктом химического преобразования двух молекул ДАДНЕ с участием части аминокислот и нитрогрупп.



ВЛИЯНИЕ ЗАЗОРА В НИЗКОЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ВВ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕТОНАЦИИ

Е.В. ШОРОХОВ, В.И. БЕЛЯКОВ, С.Б. СЫРЦОВ,
А.В. ЖУРАВЛЕВ, П.Н. ЗАГОРОДНЮК, А.Н. КАРЖЕНКОВ,
А.В. ЛЕБЕДЕВ, Н.П. ОГЛЕЗНЕВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

Экспериментально исследовалось развитие детонации в ВВ после введения в него зазора. Аналогами изучаемого ВВ являются составы на основе ТАТБ — РВХ9502 и LX-17. Известно, что это малочувствительные к внешнему воздействию ВВ. Ожидалось, что нарушение сплошности ВВ в виде зазора, должно отразиться на характере взрывчатого превращения. Целью данной работы было выявление закономерностей в изменении этого превращения.

В экспериментах использовались методики — мanganinовая, электроконтактная и рентгеновская. Варьируемым параметром была величина зазора в ВВ. Она менялась от 0 до 4 мм. Зазор устанавливался на той глубине образца, когда детонация уже вы-

ходила на нормальный режим. После зазора, на некотором расстоянии в ВВ, располагались мanganinовые датчики. Регистрировались амплитуда и профиль детонационной волны. По скорости полета пластины, установленной на торце заряда, определялись динамические характеристики ВВ в зависимости от величины зазора.

Из полученных результатов следует, что зазоры до 2 мм слабо влияют на амплитуду детонационного фронта, которая составляет величину $P = 27 \div 30$ ГПа. Их влияние отражается на форме профиля волны и проявляется в темпе спада давления за фронтом.

Отмечено, что введение зазора приводит к задержке развития детонации в ответной детали из ВВ. Приводится зависимость времени задержки от величины зазора. Максимальная величина задержки получена при зазоре в 4 мм. При этом отмечено явление нестабильного инициирования ВВ, расположенного после зазора.

Установлено, что ведение зазоров приводит к энергетическим потерям в динамике разгоняемых пластин. Полученные в данной работе результаты представляют интерес для инженерных приложений.

CLEARANCE INFLUENCE IN A LOW-SENSITIVE EXPLOSIVE MATERIAL ON DETONATION TRANSMISSION

E.V. SHOROKHOV, V.I. BELYAKOV, S.B. SYRTZOV,
A.V. ZHURAVLEV, P.N. ZAGORODNYUK,
A.N. KARZHENKOV, A.V. LEBEDEV, N.P. OGLEZNEVA

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

Detonation development in explosive materials, after the clearance was arranged in them, was experimentally investigated. Compositions PBX9502 and LX-17 are analogs of explosive materials studied. These materials have low sensitivity to external effects. It was expected that disturbance in the solidity of explosive materials in a form of clearance should influence the nature of explosion transformation. The purpose of this effort was to find out regularities in the mechanism of this transformation changes.

Experiments used manganin, electrocontact and X-ray procedures. The clearance in explosive materials was a varying parameter. It ranged from 0 up to 4 mm. The clearance was arranged at such a depth of a sample, when detonation already reached a normal mode. Manganin probes were installed in explosive materials at some distance behind the clearance. Amplitude and pro-

file of the detonation wave were registered. Flight velocity of the plate installed at the face-end of the charge was used to determine dynamic characteristics of HE depending on the clearance size.

Results demonstrated that up to 2 mm clearances have weak influence on the detonation front amplitude, which is $P = 27 \div 30$ GPa. They influence the wave-profile shape and manifest themselves in the value of pressure drop behind the front.

Clearances were noted to delay detonation development in the counterpart of explosives. The «delay time-clearance value» relation is presented. Maximal delay was obtained with 4 mm clearance. The phenomenon of unstable initiation of explosives located behind the clearance was registered.

Clearances were stated to cause energy losses in the dynamics of accelerated plates. This work results are of interest for engineering applications.



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕКСОГЕН– И ОКТОГЕН–СОДЕРЖАЩИХ ВЗРЫВЧАТЫХ СОСТАВОВ К УДАРНО–ВОЛНОВОМУ ИНИЦИИРОВАНИЮ ЗА СЧЕТ МОДИФИКАЦИИ КРИСТАЛЛОВ

Ю.Г. ПЕЧЕНЕВ, В.П. ИЛЬИН, М.Е. ЕВСТИФЕЕВ

Федеральное государственное унитарное предприятие
Государственный научно-исследовательский институт
«Кристалл», Дзержинск, Россия

В последние годы во всех ведущих государствах мира при модернизации и разработке новых боеприпасов наибольшее внимание уделяется их эксплуатационной безопасности. Одним из путей снижения уязвимости боеприпасов является использование для их снаряжения взрывчатых составов (ВС), обладающих пониженной чувствительностью к воздействию внешних факторов и, в частности, к ударной волне (УВ). Известно, что ударно-волновая чувствительность таких ВС зависит от ряда факторов:

- химической природы и содержания взрывчатых ингредиентов;
- дефектности заряда и его физико-механических характеристик;
- дефектности кристаллов ВВ — наполнителей.

Это определяет перспективные пути создания малочувствительных ВС:

1. Компоновку рецептур ВС на основе низкомолекулярных полимерных связующих, при которой достигается молекулярная флегматизация энергетических пластификаторов, высокое качество структуры заряда.

2. Синтез и использование в рецептурах ВС индивидуальных низкочувствительных ВВ.

3. Поиск специальных технологий, позволяющих получать мощные ВВ-наполнители с малой дефектностью кристаллов.

Наибольший практический интерес, на наш взгляд, представляют первое и третье направления исследований.

Общепринятым является мнение о том, что источниками начала реакции в зарядах ВС при прохождении по ним УВ являются «горячие точки». Локализация горячих точек связана как с макродефектами структуры зарядов, так и дефектностью кристаллов ВВ-наполнителей.

В данной работе проведена оценка возможности снижения ударно-волновой чувствительности гексоген- и октоген-содержащих взрывчатых составов за счет модификации поверхности частиц и устранения внутрикристаллических пор.

Поры внутри частиц ВВ обусловлены захватом маточного раствора растущим кристаллом на дефектных участках поверхности граней и последующей диффузией и удалением легколетучего растворителя. Проведенные эксперименты показали, что перекристаллизация гексогена и октогена в растворах высококипящих растворителей (ВКР), удаление которых из кристалла затруднено, позволяет получать гексоген и октоген с пикнометрической плотностью $1,80 \text{ г/см}^3$ и $1,90 \text{ г/см}^3$, соответственно, независимо от дисперсности кристаллов

Проведенные эксперименты показали, что на ударно-волновую чувствительность гексоген- и октоген-содержащих взрывчатых составов на полимерном связующем определяющее влияние оказывает внутренняя дефектность кристаллов ВВ-наполнителей — их пористость. Влияние внешней дефектности менее существенное. Пористость зарядов ВС с полимерным связующим на их восприимчивость к ударно-волновому инициированию влияния не оказывает. Таким образом модификация гексогена и октогена путем их перекристаллизации из раствора ВКР с последующей окаткой является высокоэффективным способом снижения как внешней, так и внутренней дефектности частиц. Использование модифицированных по предложенной технологии гексогена и октогена во взрывчатых составах позволяет снизить их чувствительность к ударно-волновому инициированию на 10—20 кбар (20—40%).

EVALUATION OF THE POSSIBILITY TO REDUCE SHOCK WAVE SENSITIVITY

OF EXPLOSIVE COMPOSITIONS CONTAINING HEXOGEN AND OCTOGEN BY MODIFICATION OF CRYSTALS

V.P. ILYIN, YU.G. PECHENEV, M.E. EVSTIFEV

Federal State Unitary Enterprise State Scientific Research
Institute «Kristall», Dzerzhinsk, Russia

In the last years in all the leading world states at the development and modernization of new ammunition great attention is paid to their operational safety. One of the ways to reduce ammunition vulnerability is the use of explosive compositions with low shock wave sensitivity (SWS). It is known that SWS of such explosive compositions depends on a number factors:

- chemical nature and content of explosive ingredients;
- defects in a charge and its physical and mechanical characteristics;
- defects in crystals of filling explosives.

This determines perspective ways to produce low sensitive explosive compositions:

1. The development of explosive compositions based on low modulus polymer binders providing molecular phlegmatization of energetic plasticizers, high quality of a charge structure.

2. Synthesis and application of low sensitive pure explosives in explosive compositions.

3 The search for special technologies providing high explosives–fillers with low presence of defects in crystals.

In our opinion, the first and the third trends are of great practical interest.

It is well known that to initiate reaction in explosive composition charges with a shock wave passing through them "hot spots" are necessary. Their location depends on availability of the charges continuity defects and defects in crystals of filling explosives

In this work the evaluation of possibility to reduce shock wave sensitivity of explosives based on hexogen and octogen by modification of crystal surface and elimination of pores inside crystals.

The pores inside crystals are due to the entrap of mother solution by growing crystals on defective parts of their surfaces with following diffusion and removal of volatile solvent. The experiments show that recrystallization of hexogen and octogen in solutions of highly boiling solvents, the removal of which from crystals is difficult, allows to produce hexogen and octogen with 1.80 g/cc and 1.90 g/cc pycnometric density inspite of crystal dispersivity.



БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С АММИАЧНОЙ СЕЛИТРОЙ

Е.В. КОЛГАНОВ, В.А. СОСНИН

Федеральное государственное унитарное предприятие «Государственный научно–исследовательский институт «Кристалл», Дзержинск, Россия

В настоящее время без АС невозможно производство промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) для народного хозяйства, потому что она является одним из основных их компонентов. В России на изготовление ПВВ используется около 550 тыс. тонн АС, что составляет более 40% от оставшейся после экспорта. Как известно, АС, являясь сильным окислителем, даже в слежавшемся состоянии обладает пожаровзрывоопасными свойствами. При производстве, транспортировке и хранении АС зарегистрировано довольно много случаев пожаров и взрывов, и большинство из них привели к трагическим последствиям с многочисленными жертвами. Только за последние 10 лет произошло около 10 крупных аварий. Например, в 1996 г. в Китае при взрыве на складе АС погибло 73 человек, ранено 99. В 2001 г. во Франции взорвалось 250 т АС, 29 человек погибло.

Основной причиной взрывов является ее термическое разложение в отсутствии теплоотвода и повышенное давление, а также возможность самовозгорания при контакте с органическими и другими материалами. Хотя имеется много данных по исследованиям свойств АС, все они носят противоречивый характер и проведены различными методами на селитрах различного качества. Поэтому были проведены исследования влияния различных факторов на взрывопожароопасные свойства АС. Исследования по ударно-волновой чувствительности показали что вода в небольших количествах является катализатором в процессе термического распада АС.

Взрывчатые характеристики определялись по методикам для оценки взрывчатых материалов, так как специальных методов для определения взрывоопасности таких малочувствительных веществ, как аммиачная селитра, нет. При этом использовалась схема оценки взрывоопасности вновь разрабатываемых ВВ и опасности технологических процессов, разработанная в ГосНИИ «Кристалл». Для характеристики относительной чувствительности аммиачной селитры при ударных воздействиях проводили испытания на большом копре типа БК–6. Чувствительность к трению неударного характера испытывалась на приборе И–6–2. Аммиачная селитра без органических добавок нечувствительна к КД и ДШ даже в измельченном до полного прохода через сито № 15 виде после просушки.

В дальнейших исследованиях оценивалась транспортная опасность селитры и критерии классификации веществ в соответствии с рекомендациями ООН. Согласно этим исследованиям чистая аммиачная селитра (рядовая и пористая) не относится к классу 1 (BB), а относится к классу 5.1. Однако по данным США при содержании органики более 0,2% измельченная аммиачная селитра относится к классу взрывчатых веществ 1.1Д. В то же время следует отметить, что пористая селитра США прошла тест только во второй серии опытов через прокладку и она более взрывоопасна.

Учитывая большие объемы применения аммиачной селитры в промышленности, как на предприятиях, производящих ПВВ, так и в сельском хозяйстве, для оценки эксплуатационной опасности аммиачной селитры и разработки мероприятий по повышению безопасности при обращении с чистой аммиачной селитрой, селитрой ЖВ и пористой аммиачной селитрой, необходимо разработать специальные методики и провести дополнительные исследования с целью классификации опасности различных видов селитр и снижения степени возникновения аварий при ее эксплуатации

SAFETY MEASURES IN HANDLING AMMONIUM NITRATE

E. V. KOLGANOV, V. A. SOSNIN

Federal State Unitary Enterprise «State Scientific Research
Institute «Kristall», Dzerzhinsk, Russia

At present it is impossible to produce commercial explosives for the needs of national economy without ammonium nitrate (AN), which is their basic component. In Russia nearly 550000 t of AN are used for production of commercial explosives. It is known that AN being a very strong oxidizer has fire and explosion hazard properties even in a consolidated state. A lot of fires and explosions were registered during production, transportation and storage of AN, most of them led to tragic consequences with numerous victims. Only in the last 10 years there occurred 10 serious accidents. For example in China in 1996 there was an accident in AN depot with 73 persons killed and 99 wounded, in 2001 in France 250 t of AN exploded, 29 persons were killed.

The main reason of AN detonation is its thermal decomposition without heat removal, high pressure and possibility of self ignition in contact with organic and other materials. Though much information on AN properties is available it is of contradicting character and received with AN of different quality using different meth-

ods. So the investigation was carried out concerning influence of different factors on fire and explosion hazard properties of AN. Thus, the investigations on shock wave sensitivity showed that water in small quantities is a catalyst in the process of AN thermal degradation.

Explosive characteristics were determined according to the methods of explosive materials evaluation because there are no special methods to determine explosiveness of such low sensitive materials as AN. For this purpose an explosion hazard evaluation procedure for newly developed explosives and their production technological processes worked out in GosNII «Kristall» was used. To characterize relative sensitivity of AN to impact in handling and transportation tests were carried out using БК-6 drop hammer apparatus. Sensitivity to friction of non-impact character was tested with И-6-2 apparatus. AN without organic additives being even in finely divided state (complete passing through sieve № 15 after drying) is not sensitive to detonating caps and detonating cord without organic additives

Further tests were carried out to evaluate AN transportation hazard and determine class of hazard of AN different kinds according to UN procedure of testing. The results show that pure AN (standard and porous) does not belong to Class 1 (explosives), it belongs to Class 5.1. However, according to USA data finely divided AN comprising more than 0.2% of organic substances belongs to Class 1.1D. At the same time it should be noted that USA porous AN passed only through the second series of tests (gap tests) and so was more hazard.

Taking into account that AN is used in large quantities both in plants producing commercial explosives and in agriculture it is necessary, for evaluation of AN operational hazards and for development special procedures to provide higher safety in handling it, to carry out additional investigations with the aim of hazard classification of different AN kinds and reduction of accident risk.



ДЕТОНАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Е. В. КОЛГАНОВ, В. А. СОСНИН

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Государственный научно-исследовательский институт
«Кристалл», Дзержинск, Россия

В настоящее время преимущественное развитие во всех горнодобывающих странах получил новый класс промышленных взрывчатых веществ под общим названием взрывчатые эмульсии (ЭВВ). Они облада

ют отличной водоустойчивостью и по взрывчатым характеристикам находятся на уровне тротила (гранулола). При чрезвычайно низкой чувствительности к тепловым и механическим воздействиям ЭВВ может инициировать от стандартного капсюля–детонатора и изменять скорость детонации в очень широких пределах за счет технологии изготовления и компонентного состава. ЭВВ не содержат взрывчатого сенсibilизатора и матричная эмульсия, получаемая с плотностью до 1450 кг/м^3 , является недетонационноспособной в применяемых на практике диаметрах заряда, что обеспечивает безопасность ее изготовления, транспортирования и применения. Для перевода полученной эмульсии в детонационноспособное состояние необходимо ввести в неё «горячие точки» в виде газовых пузырьков или пористых материалов.

Исследования показали, что наиболее важной характеристикой для практического применения является зависимость скорости детонации ЭВВ от плотности его заряжения. При этом имеется экстремальная зависимость с максимумом скорости 5200 м/с для обычного порэмита при плотности $1,25 \text{ г/см}^3$ и далее при повышении плотности до $1,35 \text{ г/см}^3$ наблюдается затухание детонации.

Зависимость скорости детонации ($D, \text{м/с}$) от кислородного баланса ($X, \%$) или компонентного состава хорошо описывается уравнением регрессии:

$$D = -7,352 \text{ Ч } X^2 - 40,41 \text{ Ч } X + 3798,8$$

$$(R = 0,0995; S_{\text{отн.}} = 2,43\%; S_{\text{абс.}} = 81,5 \text{ м/с})$$

Механизм детонации ЭВВ отличается от такового штатных смесей аммиачной селитры с тротилом или маслом, и в некоторых случаях близок к механизму жидких индивидуальных ВВ. Для оценки возможности возникновения взрывчатого превращения в условиях изготовления, транспортирования и практического применения экспериментальным путем определяли критические условия проявления детонации матричной эмульсии при различной температуре образцов, вплоть до технологической (80°C). Испытания проводили в зависимости от диаметра и материала оболочек (различная удельная плотность, сжимаемость и прочность на разрыв), формы оболочки и физического состояния матрицы (пористость, температура, содержание воды и тип горючего).

В процессе исследований были определены другие детонационные характеристики: массовая скорость, давление в детонационной волне, плотность в детонационной волне, показатель политропы, ширина зоны химической реакции и время химической реакции. Полученные данные подтверждают, что детонационные характеристики ЭВВ по большинству параметров находятся на уровне тротила, что позволяет заменить это дорогое и экологически неблагоприятное ПВВ при взрывных работах.

Интересные результаты были получены при оценке возможности использования утилизированного гексогена в составах ЭВВ. Одновременно с вопросами безопасности исследовалась и детонационная способность составов при введении гексогена. Данные показывают, что при содержании около 40–50% утилизированного гексогена достигается довольно высокая скорость детонации, близкая к чистому гексогену.

DETONATION CHARACTERISTICS OF EMULSION EXPLOSIVES

E.V. KOLGANOV, V.A. SOSNIN

Federal State Unitary Enterprise State Scientific Research Institute «Kristall», Dzerzhinsk, Russia

At present a new class of commercial explosives known as emulsion explosives received a large development effort. They exhibit excellent water resistance and are on TNT level according to their explosive characteristics. In spite of very low sensitivity to heat and mechanical effects they have possibility to be initiated with standard detonating caps and they can have a wide range of detonation velocities depending on a process of their production and on their formulation. Emulsion compositions do not contain explosive sensitizers and emulsion matrix with high density of up to 1450 kg/m^3 is non-detonable in charge diameters used in practice that provides safety in its production, transportation and use. To make the emulsion matrix detonable it is necessary to introduce in it gas bubbles and porous materials as «hot spots».

The most important characteristic for use is dependence of emulsion explosive detonation velocity on charging density and there exists extremum with velocity maximum 5200 m/s for common Poremit at 1.25 g/cc density and with the increase of density up to 1.35 g/cc detonation decays.

Dependence of detonation velocity ($D, \text{m/s}$) on oxygen balance ($X, \%$) or formulation is shown in regression equation of the following type:

$$D = -7.352 \text{ Ч } X^2 - 40.41 \text{ Ч } X + 3798.8$$

$$(R = 0.0995; S_{\text{rel.}} = 2.43\%; S_{\text{abs.}} = 81.5 \text{ m/s})$$

There is a difference between detonation processes of emulsion explosives and standard mixtures of ammonium nitrate with TNT or oil which in some cases are close to that of liquid pure explosives. To evaluate the probability of detonation in production, transportation and use, critical conditions of emulsion matrix detonation were determined experimentally at different temperatures of the samples approaching to a process one (80°C). The

experiments were carried out with different charge diameters and sheath materials (different specific density, compressibility and tensile strength), sheath form and matrix physical state (porosity, temperature, water content and fuel type).

In the process of investigation other detonation characteristics were determined: particle velocity, pressure and density in detonation wave, polytropic index, chemical reaction zone width and chemical reaction time. The results also demonstrated that emulsion explosives detonation characteristics were on TNT level. So this expensive and ecologically unfavourable commercial explosive can be replaced with emulsion explosives in blasting operations.

Interesting results were received in evaluating the possibility of utilized RDX application in emulsion explosives compositions. Simultaneously with safety problems detonation ability of the compositions with introduced RDX was investigated. The results showed that 40—50% content of utilized RDX provided rather high detonation velocity.



**РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ
В НИЗКОЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ВВ ПРИ
НАГРУЖЕНИИ ЕГО СКОЛЬЗЯЩЕЙ
ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНОЙ**

А.И. Бричков, Д.А. Грибанов,
А.К. Музыря, Д.В. Фролов

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забахина, Снежинск, Россия

Рассматривается взрывное нагружение образцов из низкочувствительного взрывчатого состава скользящей детонацией слоя бризантного ВВ. При определенных условиях детонация нагружаемого образца не возникает. В нем, как в инертном материале, распространяется ударная волна. Ее параметры максимальны у границы «слой-образец» и убывают с глубиной из-за процессов затухания. Предметом экспериментального исследования в данной работе является закономерность убывания скорости ударной волны по оси, нормальной к плоскости раздела «слой-образец». Образец из исследуемого ВВ имеет форму параллелепипеда, на одну из поверхностей которого нанесен детонирующий слой. Регистрация взрывного нагружения с помощью импульсной рентгенографии дает мгновенный снимок возникающего в образце

волнового процесса. Это нестационарное явление превращается в двумерное стационарное течение в системе координат, связанной с фронтом детонации нагружающего слоя ВВ и движущейся со скоростью детонации. Взрывчатое вещество образца в исходном состоянии втекает во фронт ударной волны со скоростью детонации нагружающего ВВ и вытекает из фронта сжатым, с измененным вектором скорости течения. Рассмотрение снимка как стационарного течения дает связь между скоростью детонации слоя, положением и кривизной ударного фронта и скоростью ударной волны. Выполнены эксперименты с разной толщиной нагружающего слоя и построена обобщенная зависимость скорости ударной волны от приведенной пространственной координаты (выражаемой в толщинах нагружающего слоя).

**RADIOGRAPHIC ANALYSIS OF WAVE
PROCESSES IN A LOW-SENSITIVE EXPLOSIVE
MATERIAL LOADED BY THE SLIDING
DETONATION WAVE**

F.I. BRICHKOV, D.A. GRIBANOV,
A.K. MUZYRYA, D.V. FROLOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

Consideration is given to explosion loading of samples, made of a low-sensitive explosive composition, by the sliding detonation of HE layer. In certain conditions, detonation of the loaded sample does not occur. Shock wave is propagating in the sample as in an inert material. Parameters of the shock wave are maximal near the «layer-sample» boundary and are decreasing with depth due to attenuation. This effort experimentally investigates regularity in the shock-wave velocity decrease along the axis, normal to the «layer-sample» interface plane. The sample made of the studied explosive material has the shape of a parallelepiped, one surface of which was coated by a detonating composition. Registration of explosion loading by means of pulse roentgenography provides a snapshot of the wave process arising in the sample. This non-steady phenomenon turns into the two-dimensional steady flow in the coordinate system, which is associated with the front of HE loading-layer detonation and is moving at the detonation rate. Explosive material of the sample in the initial state is flowing into the shock-wave front at the rate of loading-HE detonation and leaving it in the compressed state, with the flow-velocity vector being changed. Examination of the snapshot as a steady flow provides connection between the rate of layer detonation, the shock-front location and curvature, and shock-wave velocity. Experiments with different

thickness of the loading layer were carried out, and the generalized dependence of shock-wave velocity on the reduced spatial coordinate (expressed in loading layer thicknesses) was constructed.



РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ

В.А. ЛЕВИН

Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,
Владивосток, Россия

Исследуется распространение волн детонации в плоском канале постоянного сечения при наличии внешних электрического и магнитного полей при малых магнитных числах Рейнольдса. Вследствие большой температуры за волной газообразные продукты сгорания становятся проводящими и при наличии электромагнитного поля по среде начинает течь электрический ток. В результате взаимодействия электрического тока с электромагнитным полем и средой возникают дополнительная массовая сила и добавочный приток энергии за счет джоулевой диссипации, которые оказывают влияние на распространение детонационной волны и течение газа за ней. Рассматриваются условия, при которых магнитные числа Рейнольдса малы, и поэтому влиянием индуцированного электромагнитного поля можно пренебречь. Сначала изучается асимптотическое поведение плоской пересжатой волны детонации при удалении ее от источника инициирования. Показано, что в зависимости от величин приложенного магнитного и электрического полей возможны различные случаи поведения волны. При одних значениях параметров пересжатая волна детонации переходит в волну Ч.Ж., при этом переход может осуществляться на конечном расстоянии от источника инициирования. При других значениях параметров переход в волну Ч.Ж. не возможен и волна остается пересжатой. Такое поведение волны коренным образом отличается от случая отсутствия электромагнитного поля, когда плоская пересжатая волна детонации ослабевая стремится к режиму Ч.Ж., удаляясь от источника инициирования на бесконечно большое расстояние.

Определены необходимые условия существования волны Ч.Ж. Для тех значений определяющих параметров, при которых возможна волна Ч.Ж. получены

аналитические выражения для распределения скорости, давления и плотности за волной. Оказалось, что имеются два течения, примыкающие к детонационной волне Ч.Ж. Одно — с волной разрежения, другое — с волной сжатия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант № 02-01-00110.

DETONATION WAVE PROPAGATION IN ELECTRIC AND MAGNETIC FIELDS

V.A. LEVIN

Institute of Automation and Control Processes FEB RAS,
Vladivostok, Russia

Detonation wave propagation in the plane channel of constant section in the presence of external electric and magnetic fields at small magnetic Reynolds numbers are studied. Owing to large temperature beyond the wave combustion gas becomes conductive, and in the presence of electric field electric current begins to flow through the medium. As a result of interaction between electric current and electromagnetic field additional body force and additional energy penetration due to Joule dissipation, which affect detonation wave propagation and gas flow beyond it, appear. Conditions, in which the magnetic Reynolds numbers are small, are considered. In this case we can ignore influence of induced electromagnetic field. First, asymptotic behavior of the plane overcompressed detonation wave at its moving away from the source of initiation is studied. It is shown that different cases of wave behavior are possible depending on values of applied magnetic and electric fields. For some values of parameters the overcompressed detonation wave passes into CJ wave, in this case passage can be realized at the finite distance from the source of initiation. For other values of parameters a passage into CJ wave is impossible, and wave remains overcompressed. Such wave behavior radically differs from the case of electromagnetic field absence when the plane overcompressed detonation wave subsiding tends to CJ regime moving away from the source of initiation at infinite distance.

The necessary conditions for CJ wave existence are determined. We obtained analytical expressions for speed, pressure and density beyond the wave for the values determining the parameters at which CJ wave is possible. It has been found that there are two flows adjoining to CJ detonation wave. One flow is a flow with suction wave, and another — with compression wave.

Work is carried out at financial support of RFRF, grant N 02-01-00110.



КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОТ ОБРАЗОВАНИЯ, СГОРАНИЯ И ВЗРЫВА КЛАССИЧЕСКИХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В.К. ГОЛУБЕВ

Открытый вычислительный центр, Саров, Россия

В приближении теории функционала плотности (DFT) проведен расчет теплот образования, сгорания и взрыва более тридцати классических (CHNO) взрывчатых веществ. Рассматривались все основные группы взрывчатых веществ. Это ароматические нитросоединения (тринитротолуол или ТНТ, тринитробензол, тринитрофенол или пикриновая кислота, тринитроксил, тринитрокрезол, гексанитродифенил, гексанитростильбен и другие), нитропроизводные ароматических аминов (тринитроанилин, гексанитродифениламин или гексил, тринитро-N-метилнитроанилин или тетрил, триаминотринитробензол или ТАТБ, диаминогексанитродифенил и другие), нитросоединения алифатического ряда (нитрометан, тетранитрометан, динитроэтан и другие), нитропроизводные алифатических аминов (нитрогуанидин, этилен-N, N'-динитрамин или ЭДНА, N-диэтанол-N-нитраминдинитрат или ДИНА, N, N'-бистринитроэтилмочевина или БТЭМ и другие), нитропроизводные гетероциклических аминов (циклотриметилентринитрамин или гексоген, циклотетраметилентетранитрамин или октоген, циклотриметилентринитрозоамин), нитраты спиртов (метилнитрат, глицеринтринитрат или нитроглицерин, диглицеринтетранитрат, этиленгликольдинитрат, пентаэритриттетранитрат или ТЭН и другие).

Все расчеты проводились с использованием комплекта квантово-химических программ GAUSSIAN 98. Для выполнения расчетов электронной структуры, оптимизации геометрии молекул и частот их колебаний использовались различные уровни теории. Общим для всех расчетов был уровень B3LYP/6-311G(d). Более высоким уровнем, используемым для расчетов относительно небольших молекул и для отдельных контрольных расчетов, был уровень B3LYP/6-311+G(3df).

Несколько различных схем использовались для рассмотрения реакций образования конечных продуктов взрыва. Для некоторых из рассмотренных ВВ определены схемы, оптимальные по реализуемой энергии взрыва. Для нескольких ВВ рассмотрено влияние на энергетику процессов изомерии (напри-

мер, орто-, мета- и пара-изомеры динитробензола), пространственного строения молекул (например, α -, β - и δ -модификации октогена) и некоторых других факторов. Полученные результаты представлены в виде многочисленных таблиц и графиков. Проведено сопоставление с результатами классических термодинамических расчетов и с известными экспериментальными данными.

QUANTUM-CHEMICAL CALCULATIONS OF THE HEATS OF FORMATION, COMBUSTION AND EXPLOSION FOR CLASSICAL HIGH EXPLOSIVES

V.K. GOLUBEV

Open Computer Center, Sarov, Russia

Density functional theory (DFT) was used to calculate the heats of formation, combustion and explosion for more than thirty classical (CHNO) high explosives. All the main groups of explosives were studied. They are aromatic nitrocompounds (trinitrotoluene or TNT, trinitrobenzene, trinitrophenol or picric acid, trinitroxylene, trinitrocresol, hexanitrodiphenyl, hexanitrostilbene, and others), nitroderivatives of aromatic amines (trinitroaniline, hexanitrodiphenylamine or hexyl, trinitro-N-methylnitroaniline or tetryl, triaminotrinotrobenzene or TATB, diaminohexanitrodiphenyl and others), nitrocompounds of aliphatic series (nitromethane, tetranitromethane, dinitroethane and others), nitroderivatives of aliphatic amines (nitroguanidine, ethylene-N, N'-dinitramine or EDNA, N-diethanol-N-nitraminedinitrate or DINA, N, N'-bistrinitroethyl urea and others), nitroderivatives of heterocyclic amines (cyclotrimethylen trinitramine or RDX, cyclotetramethylen tetranitramine or HMX, cyclotrimethylen trinitrosoamine), nitrates of alcohols (methyl nitrate, glycerol trinitrat or nitroglycerine, diglycerol tetranitrat, ethyleneglycol dinitrat, pentaerythritol tetranitrate or PETN and others).

All calculations were performed using the GAUSSIAN 98 suite of quantum chemistry codes. Different levels of theory were used to carry out the electronic structure, geometry optimization and frequency calculations. The common level for all calculations was the B3LYP/6-311G(d) level. The higher level used for calculations of quite small molecules and for some control calculations was the B3LYP/6-311+G(3df) level. Several different schemes for the reactions of formation of final explosion products were used. For some examined explosives the schemes optimal on the realized explosion energy were determined. For several explosives the effects of isomerism (as the ortho-, meta- and para-isomers of dinitrobenzene), steric structure of molecules (as the α -, β - and δ - modifications of HMX) and some other factors

on the energetics of the studied processes were examined. All obtained results were exhaustingly tabulated and plotted. Comparison of obtained results with results of classical thermochemical calculations and known experimental data was made.



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТ ГЕТЕРОГЕННОГО ВВ

А.П. ЕРШОВ, Д. А. МЕДВЕДЕВ

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

Ю.В. ЯНИЛКИН, Е.С. ГАВРИЛОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

Рассматривается гидродинамика взаимодействия в двухкомпонентной системе, когда вещества несколько отличаются по свойствам (например, тротил и гексоген в сплаве ТГ). Оценки показывают, что основную роль играет относительное проскальзывание включений, порождающее неустойчивость Кельвина–Гельмгольца на границах раздела. Скорость проскальзывания формируется при прохождении фронта ударной волны. В первой серии расчетов эта скорость задавалась как начальное условие.

Движение включений исследовано численно в двумерной постановке двумя способами: с помощью газодинамического комплекса программ ЭГАК и путем решения решеточного уравнения Больцмана. Оба метода дали хорошо совпадающие результаты. Заметное смешение компонент происходит за время порядка удвоенного времени обтекания неоднородности. Рассмотрены различные формы включений: круглые, квадратные с различными ориентациями относительно потока, а также различные начальные расположения: в узлах квадратной решетки, шахматное и размещение с нарушением симметрии. Как правило, всякое начальное возмущение (к которым можно отнести негладкость формы и нарушения симметрии) ускоряет смешение. Рассчитаны зависимости от времени средней проводимости двухкомпонентной системы для случая, когда несущий компонент обладает высокой электропроводностью.

Ряд расчетов проведен в трехмерной постановке, а также с отслеживанием формирования проскальзывания компонент за ударной волной. Заметного отличия

результатов от простейшей модели не обнаружено.

Для типичного состава ТГ характерное время обтекания, которое характеризует мезомасштабные процессы, составляет порядка 1 мкс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ # проект 99–03–32336; 02–03–32873).

INTERACTION BETWEEN THE COMPONENTS OF HETEROGENEOUS EXPLOSIVE

A.P. ERSHOV, D.A. MEDVEDEV

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

YU.V. YANILKIN, E.S. GAVRILOVA

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific
Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

The hydrodynamics of interaction in the two-component system is considered provided that the components somewhat differ in their properties, like TNT and RDX in the cast mixture. Estimates show that the principal process is the velocity difference between the inclusions and the surrounding medium which leads to Kelvin–Helmholtz instability of the interfaces. The velocity difference is formed during the passage of the shock front. In the first series of calculations this velocity was set as initial condition.

The 2D motion of inclusions is simulated using two approaches: a gas–dynamic program complex EGAK and by lattice Boltzmann equation solver. Results of both methods are in good agreement. Noticeable mixing of the components takes about doubled characteristic time of flow about the inclusion. Different forms of inclusions are considered, i.e. circles, squares with different initial orientations relative to the flow, as well as different initial positions: in the nodes of square lattice, checkers–like placing and non–symmetric placing. Generally all kinds of initial disturbances (like edges or lack of symmetry) enhances the mixing. The behavior of average conductivity is calculated assuming that the connected component is good conductor.

A series of 3D calculations was performed, as well as simulations of the formation of the velocity field behind the shock. No noticeable distinctions from the simplest model was observed.

For typical TNT/RDX mixture the characteristic flow time which is responsible for mesoscale processes is about 1 μ s.

This work was supported by RFBR (grants # 99–03–32336; 02–03–32873).



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ УДАРНО–СЖАТОГО НЕВЗОРВАВШЕГОСЯ ВВ НА ОСНОВЕ ТАТБ

М.М. ГОРШКОВ, В.Т. ЗАЙКИН,
В.М. СЛОБОДЕНЮКОВ, О.В. ТКАЧЕВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

В экспериментах исследовалась взрывчатая смесь, состоящая из 90% ТАТБ и 10 % электроизоляционного пластика. Образец нагружался однократно ударной волной за время $t_1 \leq 0,15$ мкс, давление поддерживалось в нем постоянным в течение $t_2 > 0,5$ мкс. Такая постановка эксперимента позволила определять удельную электропроводность невзорвавшегося ВВ (σ) по измененному значению сопротивления образца в момент времени $t \geq t_1$, но до начала резкого роста электропроводности из-за химического разложения ВВ.

В экспериментах получено, что до давлений $P \leq 15$ ГПа σ остается первоначальной (практически равной нулю), а в интервале давлений (17,5÷34) ГПа лежит в пределах (0,5 ÷ 1,3) 1/Ом·м.

ELECTRICAL CONDUCTION OF SHOCK–COMPRESSED UNEXPLODED TATB–BASED EXPLOSIVES

M.M. GORSHKOV, V.T. ZAIKIN, V.M. SLOBODENYUKOV,
O.V. TKACHEV, I.R. SHAKIROV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute
of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

An explosive compound including 90 % TATB and 10 % insulation plastic was studied in the experiment. The sample was loaded once by the shock wave during $t_1 \leq 0.15 \mu\text{s}$. Pressure was kept constant during $t_2 > 0.5 \mu\text{s}$. This experimental setup allowed determining conductivity of the unexploded HE (σ) using the measured value of sample resistance at $t \geq t_1$, but prior to a sharp increase in

electrical conduction due to chemical decomposition of HE.

Experiments demonstrated that up to $P \leq 15$ GPa pressure, σ remains to have initial value (practically zero) and in the (17.5 ÷ 34) GPa pressure range, it falls within (0.5 ÷ 1.3) 1/Ω·m.



ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ПЛОТНЫХ ВВ

А.П. ЕРШОВ, Н.П. САТОНКИНА

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

Исследована электропроводность тэна, гексогена и октогена при различных плотностях заряда вплоть до максимально достижимых (близких к монолитным). Использовалась коаксиальная ячейка, в которой формировался исследуемый образец глухим прессованием. Интегральные измерения позволили оценивать пиковую электропроводность в зоне химической реакции (несколько Ом⁻¹ см⁻¹) и определять остаточную электропроводность за пределами этой зоны (десятые доли Ом⁻¹ см⁻¹). Как и при насыпной плотности, электропроводность в прессованных ВВ за фронтом детонации резко неоднородна. Резкий спад электропроводности с удалением от фронта — индикатор связи высокой электропроводности с химической реакцией.

Проводимость указанных ВВ с увеличением плотности в общем растет, оставаясь значительно меньше, чем у прессованного и литого тротила. Для гексогена замечена особенность — некоторое уменьшение остаточной проводимости при максимальных плотностях (1,75 и 1,8 г/см³), что можно трактовать как сокращение зоны реакции. Это коррелирует с результатами других исследователей, измерявших механические параметры (в основном для агатированного гексогена). Однако для октогена такая особенность проводимости не наблюдалась.

Более определенные результаты могут быть получены при повышении пространственного разрешения. Проработаны постановки, позволяющие достигнуть субмиллиметрового разрешения. Обсуждаются возникающие методические трудности, приводятся предварительные данные экспериментов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (код проекта 02–03–32873).

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN DETONATING DENSE EXPLOSIVES

A.P. ERSHOV, N.P. SATONKINA

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Electrical conductivity of PETN, RDX and HMX is investigated for different initial densities up to maximal achievable, close to the monolith ones. The explosive was pressed into a coaxial measuring cell. The integral conductance measurements allowed us to estimate the peak conductivity within the chemical reaction zone (several Mho/cm) and to determine the residual conductivity outside that zone (fractions of Mho/cm). In the dense explosives, as well as in loose-packed ones, the conductivity behind the detonation wave front is sharply non-uniform. The fast drop of conductivity vs distance from the front indicates that the origin of high conductivity is the chemical reaction.

The conductivity of the said explosives generally increases with density remaining substantially smaller than that of the pressed or cast TNT. For RDX a peculiarity is observed, i.e. certain decrease of the residual conductivity at maximal densities (1.75 and 1.8 g/cc), which can be attributed to the shortening of the reaction zone. This is in correlation with the results of other researchers who studied the mechanical parameters (mainly for the agatized RDX). However, no such conductive singularity was found for HMX.

To get more definite results, the spatial resolution should be enhanced. The configurations which permit the sub-millimeter resolution are worked up. The problems in this line are discussed and the preliminary experimental results are presented.

This work was supported by RFBR grant no. 02-03-32873.



КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ДЕТОНАЦИОННЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ГАЗОВЗВЕСИ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЯ В КИСЛОРОДЕ

T.A. ХМЕЛЬ, А.В. ФЕДОРОВ

Институт теоретической и прикладной механики СО РАН,
Новосибирск, Россия



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОНЕНТ ГЕТЕРОГЕННОГО ВВ

А.П. ЕРШОВ, Д.А. МЕДВЕДЕВ

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

Ю.В. ЯНИЛКИН, Е.С. ГАВРИЛОВА

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия

Рассматривается гидродинамика взаимодействия в двухкомпонентной системе, когда вещества несколько отличаются по свойствам (например, тротил и гексоген в сплаве ТГ). Оценки показывают, что основную роль играет относительное проскальзывание включений, порождающее неустойчивость Кельвина-Гельмгольца на границах раздела. Скорость проскальзывания формируется при прохождении фронта ударной волны. В первой серии расчетов эта скорость задавалась как начальное условие.

Движение включений исследовано численно в двумерной постановке двумя способами: с помощью газодинамического комплекса программ ЭГАК и путем решения решеточного уравнения Больцмана. Оба метода дали хорошо совпадающие результаты. Заметное смещение компонент происходит за время порядка удвоенного времени обтекания неоднородности. Рассмотрены различные формы включений: круглые, квадратные с различными ориентациями относительно потока, а также различные начальные расположения: в узлах квадратной решетки, шахматное и размещение с нарушением симметрии. Как правило, всякое начальное возмущение (к которым можно отнести негладкость формы и нарушения симметрии) ускоряет смещение. Рассчитаны зависимости от времени средней проводимости двухкомпонентной системы для случая, когда несущий компонент обладает высокой электропроводностью.

Ряд расчетов проведен в трехмерной постановке, а также с отслеживанием формирования проскальзывания компонент за ударной волной. Заметного отличия результатов от простейшей модели не обнаружено.

Для типичного состава ТГ характерное время обтекания, которое характеризует мезомасштабные процессы, составляет порядка 1 мкс.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (коды проектов 99-03-32336, 02-03-32873).

INTERACTION BETWEEN THE COMPONENTS OF HETEROGENEOUS EXPLOSIVE

A.P. ERSHOV, D.A. MEDVEDEV

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

YU.V. YANILKIN, E.S. GAVRILOVA

Russian Federal Nuclear Center — All-Russian Scientific
Research Institute of Experimental Physics, Sarov, Russia

The hydrodynamics of interaction in the two-component system is considered provided that the components somewhat differ in their properties, like TNT and RDX in the cast mixture. Estimates show that the principal process is the velocity difference between the inclusions and the surrounding medium which leads to Kelvin–Helmholtz instability of the interfaces. The velocity difference is formed during the passage of the shock front. In the first series of calculations this velocity was set as initial condition.

The 2D motion of inclusions is simulated using two approaches: a gas–dynamic program complex EGAK and by lattice Boltzmann equation solver. Results of both methods are in good agreement. Noticeable mixing of the components takes about doubled characteristic time of flow about the inclusion. Different forms of inclusions are considered, i.e. circles, squares with different initial orientations relative to the flow, as well as different initial positions: in the nodes of square lattice, checkers–like placing and non–symmetric placing. Generally all kinds of initial disturbances (like edges or lack of symmetry) enhances the mixing. The behavior of average conductivity is calculated assuming that the connected component is good conductor.

A series of 3D calculations was performed, as well as simulations of the formation of the velocity field behind the shock. No noticeable distinctions from the simplest model was observed.

For typical TNT/RDX mixture the characteristic flow time which is responsible for mesoscale processes is about 1 μ s.

This work was supported by RFBR (grants #. 99–03–32336, 02–03–32873).



ТЕНЕВОЕ ФОТОГРАФИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЗРЫВНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА

С.И. ГЕРАСИМОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия



ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ ВЗРЫВЧАТОМ ВЕЩЕСТВЕ С ПОМОЩЬЮ ИНДУЦИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПРИ УДАРНО–ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ

А.Д. ЗИНЧЕНКО, В.Н. СМИРНОВ

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

При ударно–волновом нагружении веществ в отсутствии внешних электромагнитных полей индуцируются электрические сигналы амплитудой от нескольких мВ до нескольких кВ [1–3]. Форма и амплитуда сигналов зависят от уровня нагружения, свойств исследуемых материалов, габаритов сборки и типа измерительной ячейки.

С точки зрения многообразия структурных изменений при ударно–волновом нагружении и, как следствие, многообразия генерируемых электрических эффектов особый интерес представляют взрывчатые вещества (ВВ). Необходимо было понять, электрические сигналы отслеживают ли специфику взрывчатых превращений ВВ и нельзя ли наблюдаемые эффекты превратить в инструмент по изучению механизма развития детонации на атомарно–молекулярном уровне.

Экспериментально изучались электрические сигналы при воздействии на твердые ВВ плоскими ударными волнами амплитудой от десятков до сотен кбар. Систематические исследования проводились на двух взрывчатых составах, содержащих тротил (Т) и гексоген (Г):

- литьевой состав ТГ4/6, $\rho = 1,65 \text{ г/см}^3$,
- прессованный состав ТГ2/7+инертная добавка, $\rho = 1,72 \text{ г/см}^3$.

Экспериментальная сборка включала в себя пакет из пластин исследуемого материала. Одним из электродов был металлический цилиндр, в который помещался пакет. Вторым электродом примыкал к торцевой поверхности последней пластины пакета. Пакет нагружался плоской УВ различной амплитуды. Электрические сигналы поступали на осциллограф через передающую коаксиальную линию с согласованной омической нагрузкой на входе в прибор. Частотная полоса пропускания регистратора 5 кГц—150 МГц.

Исследовались низкоскоростное взрывчатое превращение, переходный режим и детонация. Каждому режиму соответствовала своя форма электрических сигналов, так что электрические эффекты идентифицируют характер взрывчатых превращений. Наличие контактных границ в исследуемом пакете приводит к дополнительным электрическим эффектам, позволяющим глубже понять исследуемые явления, а также увязать изучаемые процессы не только во времени, но и в пространстве, что в совокупности раскрывает динамику развития процесса. В частности, удается определить скорости распространения волн без необходимости ввода внутрь специальных датчиков.

По данным эксперимента определена длительность переходного режима t в зависимости от давления P на УВ, входящей в ВВ. С возрастанием P величина t уменьшается. Экспериментальные данные в исследуемом диапазоне давлений ~ 80 —310 кбар и длительностей переходного режима $\sim 0,05$ —3 мкс можно описать в логарифмическом масштабе линейной зависимостью типа:

$$- \lg t = 5,27 - 2,83 \lg P \text{ для ТГ4/6,}$$

$$- \lg t = 7,11 - 3,77 \lg P \text{ для ТГ2/7,}$$

где t (μs), P (кбар).

Разнообразие типов генерируемых электрических сигналов можно объяснить с позиции электрической поляризации. Причем, поляризация в большой степени появляется в результате формирования и ориентации диполей при сжатии и растяжении образца в ударной волне и волне разгрузки. Смена знака деформации приводит к смене знака поляризационного сигнала, подобно тому, как ведут себя в аналогичных условиях пьезоэлектрики.

Ссылки

1. Hayes B. The Detonation Electric Effect, *J. of Applied Physics*. — 1967. — V. 38. — № 2.
2. Зубков П.И., Иванов П.И., Карташов А.М., Лукьянчиков Л.А., Свих В.Г., Тен К.А. Измерение электрических потенциалов, возникающих при детонации порошковых ВВ // Доклад на V Харитоновских научных чтениях. — 2003, 17—21 Марта, Саров.

3. Morvan J., Pujols Y. Shock Induced Electrical Polarisation of a Solid Explosive // V Symposium on Detonation, 1970.

STUDYING EXPLOSION TRANSITION IN A SOLID EXPLOSIVE MATERIAL WITH THE HELP OF INDUCED ELECTRICAL SIGNALS UNDER SHOCK-WAVE LOADING

A.D. ZINCHENKO, V.N. SMIRNOV

Russian Federal Nuclear Center — Zababakhin Institute of Technical Physics, Snezhinsk, Russia

Electrical signals with the amplitude from several millivolts up to several kilovolts are induced under shock-wave loading of materials in the absence of external electromagnetic fields [1—3]. The shape and the amplitude of signals depend on the level of loading, on the features of materials, on the overall dimensions of assembly and on the type of the measuring cell.

Explosive materials are of particular interest from the standpoint of the variety of structural changes under shock-wave loading, and consequently, variety of electrical effects generated. It was necessary to understand, whether electrical signals depend on the specificity of HE explosion transformations, and if the observed effects could be made a tool for studying the mechanism of detonation development at the atomic-molecular level.

Electrical signals induced when solid explosive materials were impacted by plane shock waves with the amplitude ranging from tens to thousands of kilobars were experimentally investigated. Systematic investigations were conducted with two explosive compositions, containing trotyl (T) and hexogen (H):

$$- \text{casted composition TH4/6, } \rho = 1.65 \text{ g/sm}^3,$$

$$- \text{extruded composition TH2/7+binder, } \rho = 1.72 \text{ g/sm}^3.$$

Experimental assembly included a pack of plates made of investigated material. One electrode was a metal cylinder wherein the pack was placed. The second electrode abutted on the end surface of the last plate in the pack. The pack was loaded by the plane shock having various amplitudes. Electrical signals reached the oscilloscope via the transmitting coaxial line with matched ohmic load at the instrument input. The frequency band of the recorder was 5 kHz—150 MHz.

Low-rate explosion transformation, the transient mode, and detonation were investigated. Each mode had its own shape of electrical signals, therefore electrical effects identify the character of explosion transformations. Contact boundaries in the investigated pack produce

additional electrical effects allowing deeper understanding of phenomenon under study, as well as coordination of investigated processes both in time, and in space. And this, on the whole, uncovers the dynamics of process evolution. In particular, determination of wave-propagation speed is possible without the necessity to put special probes inside.

Experimental data were used to determine transient-mode duration t versus pressure P in the shock wave entering explosives. Value t decreases with P growth. Experimental data in the investigated range of pressure (~ 80 — 310 kilobar) and of transient-mode duration (~ 0.05 — 1.3 μsec) can be described in the logarithmic scale by the linear dependence:

$$- \lg t = 5.27 - 2.83 \lg P \text{ for TH4/6,}$$

$$- \lg t = 7.11 - 3.77 \lg P \text{ for TH2/7,}$$

where, $t(\mu\text{s})$, $P(\text{kilobar})$.

Different types of generated electrical signals could be explained by electric polarization. Moreover, polarization mostly appears as a result of doublets formed and oriented while the sample is compressed and stretched in the shock and rarefaction waves. Change of the strain sign causes the change in the polarizing-signal sign, similarly to the behavior of piezodielectrics in the same conditions.

References

1. Hayes B. The Detonation Electric Effect, *J. of Applied Physics*, V 38, N 2, 1967
2. Zubkov P.I., Ivanov P.I., Kartashov A.M., Lukyanchikov L.A., Svikh V.G., Ten K.A. Measurement of Electric Potentials Occurring under Detonation of Powdered HE // Paper at V Kharitonov Scientific Conference, March 17—21, 2003, Sarov.
3. Morvan J. and Pujols Y. Shock Induced Electricai Polarisation of a Solid Explosive, V Symposium on Detonation, 1970.



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЗРЫВЕ И ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ

Г.А. МАКСИМОВ

Московский инженерно-физический институт,
Москва, Россия



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ УДАРНО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ВОЛНОЙ ПРОВОДИМОСТИ В МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВЫХ СРЕДАХ С РАЗЛИЧНЫМ ФРАКЦИОННЫМ СОСТАВОМ

Я.Л. ЛУКЬЯНОВ, В.В. ПАЙ, И.В. ЯКОВЛЕВ,
Г.Е. КУЗЬМИН

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск, Россия

В работе проведены экспериментальные и теоретические исследования возмущения магнитного поля ударно-индуцированной волной проводимости в медных порошках. Порошки представляли собой гранулы размером от 30 до 200 мкм. Магнитное поле создавалось токовым источником в виде плоской спиральной катушки. Образец нагружался плоской ударной волной, генерируемой составным зарядом взрывчатого вещества, состоящим из взрывной линзы и основного заряда. Для регистрации возмущения магнитного поля проводилось измерение ЭДС индукции датчиком, расположенным вне образца.

В серии экспериментов с медным порошком различных фракций получена зависимость эффективной скорости «вмораживания» магнитного поля от размера частиц при одинаковых условиях взрывного нагружения. Теоретически показана связь этой зависимости с параметрами и структурой фронта ударной волны в порошковой среде.

INVESTIGATION OF THE MAGNETIC FIELD DISTURBANCE BY THE SHOCK-INDUCED CONDUCTIVITY WAVE IN METAL POWDER MEDIA WITH DIFFERENT BREAKUP

YA.L. LUKYANOV, V.V. PAI,
I.V. YAKOVLEV, G.E. KUZ'MIN

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics Siberian Branch
of Science Academy, Novosibirsk, Russia

In this paper the experimental and theoretic investigation of the magnetic field disturbance by the shock-induced conductivity wave in copper powders had carried out. The granulated powders with particle sizes from 30 to 200 μm had been used. The magnetic field was

created by a current source in the form of flat helical coil. The samples had loaded by plain shock wave generated using explosive charge composed of explosive lens and basic charge. For the magnetic field disturbance registration, the EMF of induction has been measured. The induction gauge had been located outside of a sample.

In the set of experiments with copper powder with different fractions the effective velocities of a magnetic field «freezing» depending on particle size had determined at equal loading conditions. The connection of this dependence with parameters and structure of a shock wave front in a powder material are theoretically shown.



**РАДИАЦИОННО–ДИНАМИЧЕСКИЕ
ЭФФЕКТЫ И СТРУКТУРНЫЕ ФАЗОВЫЕ
ПРЕВРАЩЕНИЯ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ
СРЕДАХ, ИНИЦИИРУЕМЫЕ
«ПОСЛЕКАСКАДНЫМИ» МИКРОУДАРНЫМИ
ВОЛНАМИ ПРИ КОРПУСКУЛЯРНОМ
ОБЛУЧЕНИИ**

В.В. Овчинников

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В настоящее время интенсивно изучаются радиационно–динамические (РД) процессы, инициируемые корпускулярным облучением. Природа этих процессов связана с и распространением микроударных волн, фомируемых в результате эволюции плотных каскадах атомных столкновений, осуществляющих на своем фронте структурные перестройки и фазовые превращения.

При облучении ионами низких энергий (10–100 кэВ) РД процессы приводят к эффектам дальнего действия, заключающимся в изменениях структуры и свойств материалов на глубине, на несколько порядков превышающей проективные пробеги ионов указанных энергий. При облучении нейтронами аналогами ионов являются первичные атомы отдачи.

Обнаруженные явления позволяют формировать уникальные электрические магнитные, трибологические и др. свойства кристаллических, нанокристаллических и аморфных материалов. К сожалению закономерности РД эффектов еще крайне слабо изучены.

Не исследованы условия инициирования и протекания РД процессов в зависимости от энергии, массы ионов, плотности ионного тока, температуры, состава

и структуры мишени. Сообщение посвящено анализу закономерностей и природы РД процессов в метастабильных металлических сплавах на основе уже полученных и опубликованных данных, а также последних исследований, выполненных в Институте электрофизики УрО РАН совместно с Институтом физики ионных пучков Исследовательского Центра Росендорф, Германия. Последнее касается данных, полученных при облучении металлическими ионами, подтверждающих и дополняющих результаты, относящиеся к воздействию пучков газовых ионов, а также использования комбинированного ионного и электромагнитного облучения.

Замещение части плотности мощности ионного пучка (от 0 до 100%) световым излучением позволило при сохранении неизменной стационарной температуры мишени варьировать в широких пределах энергию ионов и плотность ионного тока. Варьировались также доза облучения и сорт ионов. Кинетика РД процессов для газовых и металлических ионов, а также вопрос о критических значениях энергии ионов и плотности ионного тока, инициирующих РД превращения, были исследованы для метастабильных сплавов железо–хром, железо–марганец, железо–палладий–золото, алюминий–медь.

Работа выполнялась при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант N Урал 01–02–96428), а также в рамках Программы государственной поддержки ведущих научных школ РФ (грант N НШ–639.2003.2) и Программы поддержки международного сотрудничества со стороны Минпромнауки и правительства Германии RUS 01/231.

**RADIATION–DYNAMIC EFFECTS
AND STRUCTURAL PHASE
TRANSFORMATIONS IN CONDENSED MEDIA
INITIATED BY POST–CASCADE MICROSHOCK
WAVES UNDER CORPUSCULAR IRRADIATION**

V.V. OVCHINNIKOV

Institute of Electrophysics, UB RAS, Ekaterinburg, Russia

Radiation–dynamic (RD) processes initiated by corpuscular irradiation, their nature lying in propagation of microshock waves formed at evolution of dense atomic collision cascades initiating structural and explosive phase transformations at wavefront are discussed.

Under irradiation with low–energy (10–100 keV) ions, RD processes cause long–range effects: changes in the structure and properties of materials at depths

exceeding ions projected ranges by several orders of magnitude. Under neutron irradiation, primary recoil atoms appear as analogues to ions.

These phenomena permit to form unique electrical, magnetic, tribological and other properties of materials. However, the laws governing RD effects remain underinvestigated. The conditions of RD processes initiation and life, depending on ions energy and mass, ion current density, target temperature, composition and structure need further study.

Analysis is offered of the laws and nature of RD processes in metastable metal alloys based on available data and the latest investigations done at the Institute of Electrophysics UB RAS jointly with the Institute of Ion Beams Physics of Research Center at Rossendorf, Germany. The data on irradiation with metallic ions corroborate and supplement the results obtained for gaseous ion beams and exposure to combined ion and electromagnetic irradiation.

Partial (0 to 100 %) ion beam power substitution with light irradiation, while maintaining stationary target temperature, allowed varying ion energy and ion current density over a wide range. Irradiation dose and kinds of ions also varied. RD processes kinetics for gaseous and metallic ions, also the critical values of ions energy and ion current density initiating RD transformations were investigated for iron–chromium, iron–manganese, iron–palladium–gold, aluminium–copper alloys.

Work carried out with the support of the Russian Foundation for Basic Research (grant Ural 01–02–96428), with financing under the Program of Government Support to Leading Scientific Schools of Russia (grant NSh–639.2003.2) and the Program of Support to International Collaboration RUS 01/231 of Minpromnauka and the German government.



РАДИАЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ И ПЛАСТИЧНОСТЬ СТАЛЬНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ПРИ ВЗРЫВНОМ НАГРУЖЕНИИ

Е.Ф. Грязнов, М.М. Бойко, В.Н. Охитин

Московский Государственный
Технический Университет им. Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

Цилиндрические оболочки, нагруженные изнутри взрывом заряда ВВ, являются инструментом для изу-

чения пластических свойств материалов в широком диапазоне скоростей деформаций (до 10^6 с^{-1}). Однако, оценки деформации разрушения, получаемые, с одной стороны, в процессе нагружения с помощью высокоскоростной оптической или рентгеноимпульсной съемки, и, с другой стороны, путем измерений на фрагментах оболочек после их улавливания в мягкой тормозящей среде, дают заметно различные результаты. В частности, для оболочек из стали 20 в первом случае деформация разрушения достигает 70 %, а во втором — не превышает 35–40%. Одна из основных причин данного противоречия связана с неоднородностью распределения деформаций в стенке расширяющейся оболочки.

Металлографический анализ позволяет выявить в поперечных сечениях фрагментов оболочек, изготовленных, как из малоуглеродистых (ст.20) так и среднеуглеродистых (ст.60) сталей, несколько характерных зон. Микроструктура во внешней и срединной зонах фрагментов незначительно отличается от исходной, здесь можно отметить появление преимущественной (тангенциальной) ориентации зерна. Внутренняя зона фрагментов (начиная с глубины ~0,5 мм от внутренней поверхности оболочки) представляет собой зону интенсивного пластического течения — зерна сильно вытянуты в тангенциальном направлении. Количественная оценка деформаций, накопленных к моменту разрушения, проведенная микроструктурным методом Г.А. Смирнова–Аляева, показала, что в оболочке из ст.20 деформация разрушения внешней зоны фрагментов составляет 40–45 %; во внутренней зоне достигает 60 %; минимальный уровень деформации разрушения наблюдается в срединной зоне стенки — 35 %. Измерение микротвердости в поперечном сечении фрагментов показало, что распределение микротвердости как в ст.20, так и в ст.60 аналогично распределению деформаций.

Данные факты подтверждают волновую природу зарождения очагов трещин в срединной зоне стенки оболочки. Последующее развитие первичных очагов происходит в направлении наружной поверхности оболочки. Заключительный этап разрушения связан с локализованным сдвигом внутренней зоны стенки оболочки. Деформация именно данной зоны стенки оболочки и определяет высокие значения радиусов разрушения наблюдаемых при высокоскоростной оптической и рентгеноимпульсной съемке. Внутренняя зона стенки оболочки является зоной образования своеобразной «шейки», аналогичной той, которая наблюдается при статических испытаниях стандартных образцов на растяжение.

RADIAL FRACTURE AND PLASTICITY OF STEEL CYLINDRICAL SHELL OF EXPLOSIVE LOADING

E.F. GRIYAZNOV, M.M. BOIKO, V.N. OKHITIN

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

The cylindrical shells, loading internal explosion, are the specimens for study of material plastic properties in broad range of strain rate (about 10^6 s^{-1}). However, estimations of failure strain, got, on the one hand, in process of loading by means of high-speed optical or rentgenography registrations, and, on the other hand, way of measurements of fragments of shells after there recovery in soft damping environment, give noticeably different results. In particular, for shells, made from steel 20, in first event the failure strain obtain 70 %, but in second — does not exceed 35—40 %. One of the main reasons of givened contradiction is connected with spottiness of sharing of strain in wall of expanding shell.

Metallographic analysis allow to several in cross-section of shell fragments, made as from low-carbon (steel 20) so and medium-carbon (steel 60) steels, several typical zones. Microstructure in external and middle fragment zones is small differs from source, here possible note, the appearance preferred (tangential) grain orientation. The internal zone of fragments (as from depth $\sim 0,5 \text{ mm}$ at inner shell surface) presents itself zone of intensive plastic current — grains are to a marked degree extended in tangential direction. The quantitative estimation of strain value, smoked to moment of failure, at by microstructure G.A. Smirnov-Alaev method, has shown, that in shell from steel 20 failure strain of external zone of fragments forms 40—45 %; in internal reaches 60 %; the minimum level of failure strain exists in a middle zone of wall — 35%. The microhardness measurement in fragments cross-section has shown that both in steel 20 and in steel 60 microhardness distribution similarly distribution of failure strain.

These facts confirm the wave nature of crack nucleation in middle zone of shell wall. The following evolutions of primary centers occur toward external surface of shell. The finale stage of failure is connected with localized shear of internal zone of shell wall. Failure exactly this zone of shell wall defined high value of failure radiuses observed under high-speed optical or rentgenography registrations. The internal zone of shell wall is a zone of formation a distinctive «neck», is similar that, which exists under static tests the standard samples of tensile.

ВЛИЯНИЕ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ДОБАВОК НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БРИЗАНТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ К УДАРУ

Р.М. ВАХИДОВ, Т.Н. ИСХАКОВ

Казанский государственный технический университет,
Казань, Россия

THE INFLUENCE OF CURRENT CONDUCTING ADDITIVES ON SENSITIVITY OF SECONDARY EXPLOSIVES TO BLOW

R.M. VAHIDOV, T.N. ISHAKOV, V.J. BAZOTOV

The Kazan State Technological University

There are known works on secondary explosive's sensitivity under electromechanical influence. The need to research the influence of current conducting additives on explosive substance's sensitivity to blow appeared in this connection. The colloidal graphite C-3 was used as the current conducting additive in amount 0.1—0.7%.

It is revealed that the current conducting additive is the effective sensitizer for explosive substances which crystals are possessing piezoelectric properties (δ -modification of HMX). Explosive substances, which crystals have not piezoelectric properties, are made phlegmatic by colloidal graphite (β -modification of HMX) or the additive does not influence on explosive substance's sensitivity to blow (RDX).

Got experimental data are indicative of that fact, that explosive substances sensitizing is conditioned by electric field appearing in consequence of piezoelectric effect. Particles of colloidal graphite having bolt on the crystal's surface lead to creation of local zones with high tension of electric field in adjacent areas, which probably can be beginning centers of initiating of explosive decomposition.



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ПЛОТНОСТИ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ПОРИСТЫХ ВВ С ПОМОЩЬЮ СИ

Л.А. ЛУКЪЯНЧИКОВ

Институт гидродинамики им. Лаврентьева СО РАН,
Новосибирск-90, Россия



**ИЗУЧЕНИЕ ГИПЕРСКОРОСТНЫХ
УДАРНИКОВ РАЗОГНАННЫХ ПРОДУКТАМИ
ПЕРЕСЖАТОЙ ДЕТОНАЦИИ**

WEN SHANGGANG

Institute of Fluid Physics, CAEP, China



**РАЗРАБОТКА ВЫСОКО–
И НИЗКОСКОРОСТНОГО ГЕНЕРАТОРА
ПЛОСКОЙ ВОЛНЫ С ВЗРЫВЧАТЫМ
ВЕЩЕСТВОМ 61510; ДИАМЕТРОМ 200 М**

HUANG YIMIN

Institute of Chemical Materials, CAEP, China



**ЛОКАЛЬНАЯ КВАЗИСТАЦИОНАРНАЯ
МОДЕЛЬ СЖ ДЛЯ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА
НЕИДЕАЛЬНОЙ ДЕТОНАЦИИ**

HONG YU

Institute of Fluid Physics, CAEP, China



**ЯВЛЕНИЕ СОРБЦИИ ВОДОРОДА
МЕТАЛЛАМИ В ФОРМИРОВАТЕЛЯХ
ТОКОВЫХ ИМПУЛЬСОВ**

Ю.Т. Синяпкин

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ экспериментальной физики,
Саров, Россия



**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВЧАТОГО
ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТВЕРДОМ ВВ
С ПОМОЩЬЮ ИНДУЦИРУЕМЫХ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
ПРИ УДАРНО–ВОЛНОВОМ НАГРУЖЕНИИ**

Е.Б. Смирнов

Российский федеральный ядерный центр —
Всероссийский НИИ технической физики
им. акад. Е.И. Забабахина, Снежинск, Россия

