

Секция 2

**ВЗРЫВНЫЕ И ДЕТОНАЦИОННЫЕ
ЯВЛЕНИЯ**

Section 2

**EXPLOSION AND DETONATION
PHENOMENA**

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ВЗРЫВНОМУ ИНИЦИИРОВАНИЮ С МОДЕЛИРОВАНИЕМ ВОЗГОРАНИЯ НА ВВ RX-55, ОСНОВАННОМ НА LLM-105

П. А. УРТЬЕВ, К. С. ВАДЕРСАЛЛ,
К. М. ТАРВЕР, Ф. ГАРСИЯ

ЦЕНТР ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ЛИВЕРМОРСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
ИМ. ЛОУРЕНСА, ЛИВЕРМОР, СА 94550, США

Эксперименты по взрывному инициированию на RX-55-AA (95% LLM-105, 5% Витон по весу) были выполнены при 25 и 150° С для получения in-situ данных датчика давления, порогов длины преддетонационного участка, и параметров моделирования возгорания и развития, таких как отношение скорости ударной волны к массовой скорости. Газовая пушка с диаметром 101 мм, приводимая в движение ракетным топливом, была использована для инициирования образца ВВ с манганиновыми пьезорезистивными датчиками давления, помещенными между дисками образцов. Как и ожидалось, точки преддетонации на Pop-графике для этих экспериментов показали согласие между случаем при 25° С с предыдущими опубликованными данными на подобном составе RX-55-AB (на основе LLM-105) и небольшой рост чувствительности при повышенной температуре (150° С). Полученные параметры моделирования возгорания и развития хорошо согласовывались с экспериментальными данными.

Эта работа была выполнена под эгидой Департамента Энергетики США Ливерморской Национальной Лабораторией им. Лоуренса по контракту No. W-7405-Eng-48.

SHOCK INITIATION EXPERIMENTS WITH IGNITION AND GROWTH MODELING ON THE LLM-105 EXPLOSIVE RX-55

P. A. URTIEW, K. S. VANDERSALL,
C. M. TARVER, F. GARCIA

Energetic Materials Center Lawrence Livermore
National Laboratory Livermore, USA

Shock initiation experiments on the LLM-105 based explosive RX-55-AA (95% LLM-105, 5% Viton by weight) were performed at 25 and 150° C to obtain in-situ pressure gauge data, run-distance-to-detonation thresholds, and Ignition and Growth modeling parameters such as shock velocity — mass velocity relationship. A 101 mm diameter propel-

lant driven gas gun was utilized to initiate the explosive sample with manganin piezoresistive pressure gauge packages placed between sample disks. The run-distance-to-detonation points on the Pop-plot for these experiments showed agreement at 25° C with previously published data on a similar LLM-105 based formulation RX-55-AB as well as a slight sensitivity increase at elevated temperature (150° C) as expected. Ignition and Growth modeling parameters were obtained with a good fit to the experimental data.

This work was performed under the auspices of the U. S. Department of Energy by the University of California, Lawrence Livermore National Laboratory under Contract No. W-7405-Eng-48.

РАСПАД АЗИДА СВИНЦА И ПЕНТАЭРИТРИТТЕТРАНИТРАТА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВИБРАЦИИ

Н. П. Логинов

Самарский государственный технический
университет, Самара, Россия

Исследован распад азид свинца (АС), пентаэритриттетранитрата (ПЭТН) и их слоевой системы под действием вибрации и статических нагрузок. Определена чувствительность двух сортов азид свинца в индивидуальном виде и в контакте их с образцами ПЭТН. Предложено характеризовать чувствительность к вибрации этих энергетических конденсированных систем (ЭКС) с учетом их степени разложения, как функции параметров вибрационной и статической нагрузок. Рассмотрены существующие представления о чувствительности инициирующих взрывчатых веществ к механическим нагрузкам и отмечено, что они не объясняют наблюдаемых изменений в АС, не завершившихся взрывом в ходе вибрации, что не позволяет надежно прогнозировать поведение таких образцов АС в изделиях на практике. Для обнаружения последствий действия вибрации на АС методом дифференциально-термического анализа изучено изменение физико-химических характеристик АС до и после вибрации. Рентгенофазовым анализом установлено изменение фазового состава АС после действия на него совместных вибрационной и статической нагрузок. Установлено, что чувствительность слоевой системы АС+ ПЭТН к вибрации, характеризующая степень разложения, значительно выше, чем у чистого ПЭТН, но меньше, чем у АС.

Дано объяснение механизма распада этих веществ и их слоевой системы при небольших значениях параметров вибрации и невысоких

температурах разогрева образцов. По известным представлениям возбуждение твердых ЭКС ударом связано с возникновением локальных разогревов при деформации тонких слоев и прочностном разрушении их за время 10^{-4} с. При вибрации один цикл колебаний в наших экспериментах длится около 10^{-2} с. Поэтому разогрев частиц АС и ПЭТН относительно невысок (менее 100°C) даже при продолжительности вибрации в течение нескольких минут. В каждом цикле нагружения сначала происходит разогрев, приводящий к возникновению распада, а затем быстрое затухание реакции в полупериодах разгрузки образца. В последующих циклах нагружения в уплотненный образец ЭКС поставляется новая малая порция энергии для продолжения реакции, идущей с недостаточным для возникновения взрыва тепловым эффектом. Распространение реакции на непрореагировавшую часть вещества и переход ее во взрыв блокируется периодическим спадом напряжений, деформаций и локальных температур разогревов, а также теплоотводом в металлические детали прибора.

Для прогнозирования безопасных условий производства, транспортировки и применения изделий с этими ЭКС нужно учитывать их чувствительность к вибрации и принимать соответствующие меры защиты персонала.

THE DECOMPOSITION OF LEAD AZIDE AND PENTAERYTHRIT-TETRANITRATE UNDER VIBRATION

N. P. LOGINOV

Samara State Technical University, Samara, Russia

The decomposition of lead azide and pentaerythritetranitrate (PETN) and their binary explosives were studied under the action of vibration and static loadings.

The sensitivities of two sorts pure lead azides and with reaction of lead azide + PETN were determined.

The sensitivity of this binary explosive were determined as functions of vibration parameters and static loading.

Current concepts regarding detonator explosive on their sensitivity to mechanical loadings are considered; insufficiency of experimental data of this effect is noted. The chemical transformations of lead azide in the PETN based compositions under vibration were obtained through the use of differential thermal analysis before and after vibration.

The physical transformations of binary explosive were determined under action and static loadings by X-ray phase analysis.

A comparison of the sensitivity lead azide+PETN with sensitivity PETN and sensitivity of azide shows that sensitivity of pure PETN increase and sensitivity of pure azide reduce.

The mechanism of decomposition of this samples under low melting points and low vibration are given. According experimental data one cycle of loadings is 10^{-2} s. Therefore, heating of lead azide and PETN is low ($< 100^\circ\text{C}$) under vibration for 10 minutes. In each loading cycle azide and PETN are heated, then they are decomposed and then reaction is inhibited. An analysis of the data in next loading cycles shows that conditions of reaction propagation from ignited hot spot to the ambient HE (high explosive) and transition to detonation substantially depend on the kinetics of low heating effect controlling reactions.

A comparison of the results obtained by the DTA and XDA techniques with transformation shows that one of the main reasons for the considerable decrease in the local heating, stresses, different strains and their subsequent inhibiting effect on the decomposition reaction and its propagation to the unreacted part of the sample.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА КРИТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ БРИЗАНТНЫХ ВВ

Р. М. ВАХИДОВ, А. С. КУРАЖОВ,
Т. Н. ИСХАКОВ, В. Я. БАЗОТОВ

Казанский государственный
технологический университет, Казань, Россия

При проведении испытаний на чувствительность бризантных ВВ с одновременным наложением электрического поля на навеску ВВ происходит значительное уменьшение критического давления инициирования. Для гексогена критическое давление инициирования снижается с 600 МПа до 120 МПа при напряженности электрического поля в навеске ВВ – $1,17 \cdot 10^7$ В/м. Кроме уменьшения критического давления инициирования, с помощью быстродействующей записывающей аппаратуры выявлено значительное уменьшение периода индукции гексогена при воздействии электрического поля. Так при стандартных копровых испытаниях, когда напряженность внешнего поля равна нулю, период индукции составляет 560 мкс,

а при напряженности электрического поля $E = 1,17 \cdot 10^7$ В/м, уменьшается до 120 мкс. Путем подсчета по формулам, принятых для тепловой теории инициирования выявлено, что максимально возможный разогрев ВВ в плоскостях скольжения составляет 438° К, в то время как температура вспышки ТЭНа составляет 488° К. Расчеты также показали, что весьма маловероятен дополнительный разогрев ВВ за счет выделения Джоулева тепла, так как максимальная энергия электроискрового разряда составляет величину $4,3 \cdot 10^{-5}$ Дж, что намного ниже минимальной энергии зажигания даже пылевоздушной смеси.

Полученные экспериментальные данные указывают на влияние внешнего электрического поля на кинетику разложения ВВ. Предложена математическая модель влияния напряженности электрического поля на скорость мономолекулярной реакции разложения. Получена корреляция зависимостей относительной скорости мономолекулярного распада от напряженности электрического поля $n(E)$ и критического давления инициирования от напряженности электрического поля $P_{кр}(E)$.

INFLUENCE OF AN ELECTRIC FIELD ON CRITICAL PRESSURE INITIATION BLASTING EXPLOSIVES

R. M. VANIDOV, A. S. KURAZHOV,
T. N. ISKNAKOV, V. J. BAZOTOV

The Kazan State Technological University,
Kazan, Russia

At carrying out of tests for sensitivity blasting explosives with simultaneous superposition of an electric field on shot explosives there is a significant reduction of critical pressure of initiation. For hexogen critical pressure of initiation drops with 600 MPa up to 120 MPa at electric field strength in shot explosives $1,17 \cdot 10^7$ V/m. Except for reduction of critical pressure of initiation, with the help of high-speed writing down instrumentation significant reduction of induction period of hexogen is revealed at influence of an electric field. So at standard run engine tests when intensity of an external field is equal to zero, induction period makes 560 mks, and at electric field strength $E = 1,17 \cdot 10^7$ V/m, decreases up to 120 mks. It is revealed by calculation under the formulas, accepted for the thermal theory of initiation, that greatest possible warming up explosives in slip planes makes 438° K while TAN flash point makes 488° K. Calculations also have shown, that padding warming up explosives is rather improbable due to excretion Joule heat

as maximal energy of electrospark discharge makes size $4,3 \cdot 10^5$ J that is much lower than minimum energy of ignition even a dustair mix.

Received experimental data specify influence of an external electric field on kinetics of decomposition of explosives. The mathematical model of influence of electric field strength for speed of monomolecular reaction of decomposition is offered. Correlation of dependences of relative speed of monomolecular disintegration from electric field strength $n(E)$ and critical pressure of initiation from electric field strength $P_{cr}(E)$ is received.

МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНИЦИИРОВАНИЯ И ДЕТОНАЦИИ ТАТБ-ПОДОБНОГО ВВ

И. В. ДЕРБЕНЕВ¹, В. В. ДРЕМОВ¹,
Ф. А. САПОЖНИКОВ¹, А. В. КАРАБАЕВ¹,
Л. СУЛАРД²

¹Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

²CEA/DAM, Франция

Предложена модификация потенциала REBO для молекулярно-динамического моделирования ТАТБ-подобного ВВ — молекулярного кристалла с молекулами, состоящими из четырех различных атомов. ТАТБ-подобный означает то, что параметры начального состояния ВВ и параметры продуктов взрыва в точке CJ сходны с соответствующими параметрами реального ТАТБ. Параметры потенциала разбиты на две группы, ответственные за ширину зоны реакции и CJ характеристики. Возможность образования промежуточных продуктов детонации позволяет варьировать ширину зоны реакции без изменения начального состояния и CJ параметров. Проведена серия молекулярно-динамических расчетов с целью определения термодинамических свойств ВВ и продуктов детонации, параметров в точке CJ, зависимости скорости реакций и ширины зоны реакции от параметров потенциала и критического диаметра. Исследованы термический и ударно-волновой механизмы инициирования модельного ВВ. Построенную молекулярно-динамическую модель предполагается применять в МД исследованиях взаимодействия детонационных волн с широкой зоной реакции с преградами из различных материалов.

MOLECULAR DYNAMICS SIMULATION OF INITIATION AND DETONATION OF TATB-LIKE HE

I. V. DERBENEV¹, V. V. DREMOV¹,
F. A. SAPOZHNIKOV¹, A. V. KARAVAEV¹, L. SOULARD²

¹Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

²CEA/DAM, France

A modification of REBO potential has been proposed for the molecular dynamics simulation of a TATB-like condensed explosive whose molecule initially consists of four different atoms. TATB-like means bulk properties of initial state and parameters at CJ point similar to those of real TATB. Parameters of the potential are subdivided into two groups that are responsible for CJ parameters and reaction zone width. The possibility of formation of intermediate detonation products allows variation of reaction zone characteristics without changing CJ parameters. Provided are a number of test MD calculations on the thermodynamic properties of both the original explosive and detonation products, parameters at CJ point, reactions rates and reaction zone width as dependent upon the potential parameters as well as the evaluation of critical diameter. Mechanism of the detonation initiation proper to heterogeneous explosives has been investigated. Constructed MD model is supposed to be applied when investigating into the interaction of detonation waves having wide reaction zone with the obstacles made of different materials.

РАСЧЕТ СКОРОСТИ РОСТА ГОРЯЧИХ ТОЧЕК В ДЕТОНАЦИИ С УЧЕТОМ ТУРБУЛЕНТНОГО МЕХАНИЗМА ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ

В. Г. Морозов, И. И. Карпенко,
Ю. В. Янилкин, О. Н. Чернышева

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ
экспериментальной физики, Саров, Россия

Предметом исследования является важное для теории детонации понятие горячих точек и скорости их роста в сжатом холодном ВВ, определяющей время индукции детонации.

В методике ЭГАК проведены расчеты эволюции горячего очага с учетом турбулентности и теплопроводности. Полученная в расчете скорость рос-

та ~200м/сек подтверждает гипотезу о турбулентном механизме переноса энергии в процессе роста горячих точек при иницировании детонации.

На современном уровне картину иницирования гетерогенных ВВ можно представить поэтапно:

1. В гетерогенных конденсированных ВВ ударно-волновое иницирование химических реакций начинается с образования маленьких локализованных разогретых очагов, «горячих точек», в непосредственной близости к порам и границам зерен за счет эффектов разогрева газа в порах, микрокумулятивных эффектов при схлопывании пор, трения между гранулами и пластических деформаций.

2. Рост горячего очага (либо его затухание) в зависимости от давления в окружающем холодном ВВ до соприкосновения с соседними очагами.

3. Быстрое слияние очагов — собственно взрыв.

Эти представления заложены в модель кинетики МК. Скорость роста горячего очага определяет время индукции детонации на макроуровне в модели кинетики. Поэтому уже в первых публикациях была рассмотрена задача о росте изолированного горячего очага (ГТ — горячей точки) в окружающем бесконечном холодном ВВ. Было построено приближенное автомоделное решение задачи о развитии единичного очага. На основе этих расчетов были сделаны выводы:

1. Рост «горячих пятен», осуществляющий переход ударной волны в детонационную, и его зависимость от давления определяется процессами энергопереноса. Волна теплопереноса должна быть «привязана» к волне горения за счет общего механизма роста скорости реакций и энергопереноса, иначе энергия уходит вперед и горение в пятне резко падает. Зона горения в «горячем пятне» сравнима с его размером, поэтому нельзя пренебрегать ее шириной в расчетах и, тем более, переносить зависимости скорости фронта горения от давления из крупномасштабных опытов.

2. Можно предположить, что в крупномасштабном горении ВВ зависимость скорости фронта горения от давления также определяется в первую очередь процессом энергопереноса. Таким образом, проясняется важность исследования теплопроводности ВВ в зоне горения в широком диапазоне давлений от единиц атмосфер до сотен килобар.

Однако при построении приближенного автомоделного решения остались вопросы:

1) Мы предполагали, что поток энергии связан с молекулярной теплопроводностью. Чтобы он обращался в нуль на границе ГТ, необходимо полагать, что коэффициент теплопроводности χ

пропорционален концентрации ПВ, что, вообще говоря, ниоткуда не следует. На уровне оценок было показано, что наиболее естественно рост χ и обращение его в нуль на границе пятна объясняется турбулентным механизмом энергопереноса.

2) Оценки скорости роста горячего пятна: $V \approx d/\tau$, где $d \approx 100$ микрон — размер зерен, $\tau \approx 1$ мкс — время индукции, дают скорость не менее $V \approx 100$ м/с. Такая скорость может объясняться только турбулентным механизмом переноса энергии. Из анализа экспериментальной величины времени индукции следует также, что для получения такой скорости роста ГТ величина χ в ПВ должна превосходить его значение при нормальных условиях на 2–3 порядка и более.

3) В модели МК было предположено, что коэффициент теплопроводности χ , осуществляющий рост ГТ, пропорционален P^2 (P — давление). Это должно объяснять известный из практики критерий иницирования $P^2\tau = \text{const}$. Приближенные оценки дают близкую зависимость χ от давления.

Анализ решений уравнений роста горячего пятна показал, что основной процесс энергопереноса происходит турбулентно. На последнем этапе должна включаться молекулярная теплопроводность, чтобы обеспечить прогрев и разложение ВВ. Таким образом, общая картина выглядит так: турбулентность (или сдвиговые течения) дробит или перемешивает крупномасштабные частицы ВВ до мелких размеров, при которых успевает происходить горение с теплопроводностью с поверхности мелких частиц — для этого уже требуется малое время.

Для проверки адекватности предложенной картины развития процесса в методике ЭГАК была проведена серия двумерных газодинамических расчетов роста горячего очага, с учетом теплопроводности и турбулентности по K - ϵ модели, в которых скорость горения рассчитывалась по закону Аррениуса. Расчеты показали, что ни теплопроводность, ни турбулентность по отдельности не могут обеспечить достаточную скорость роста ГТ, и только сочетание турбулентности с теплопроводностью позволяет получить в расчете ожидаемую скорость роста ГТ.

Полученный результат служит физическому обоснованию макроскопических уравнений модели кинетики разложения МК на стадии роста горячих точек и подтверждает мнение, что турбулентность в зоне реакции при механическом переносе вещества является существенным фактором и ее необходимо учитывать в теории детонации.

CALCULATING THE RATE OF HOT SPOT GROWTH IN DETONATION WITH TURBULENT ENERGY TRANSPORT MECHANISM

V. G. MOROZOV, I. I. KARPENKO,
YU. V. YANILKIN, O. N. CHERNYSHEVA

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

The study centers on the concept of hot spots, which is essential to the theory of detonation, and their growth rate in compressed cold explosives, which determines the detonation induction time.

Simulations of hot spot evolution with turbulence and heat conductivity were conducted using the EGAC code. The resulting growth rate of ~ 200 m/sec testifies to the hypothesis about turbulent mechanism of energy transport in the process of hot spot growth at detonation initiation.

Executive Summary

Initiation of heterogeneous explosives in up-to-date terms can be described as a series of stages as follows:

1. Shock-wave initiation of chemical reactions in heterogeneous condensed explosives begins from the formation of small localized heated centers, or hot spots, in immediate proximity to pores and grain boundaries due to gas heating in pores, microscopic cumulative effects at pore collapse, friction between particles and plastic strain

2. Hot spots grow (or attenuate) depending on pressure in the surrounding cold explosive prior to contact with adjacent spots

3. Hot spots quickly merge: the explosion breaks out.

This concept is implemented in the МК kinetics model. The rate of hot spot growth determines the time of detonation induction at the macroscopic level in the kinetics model. Therefore, the problem of isolated hot spot growth in the infinite ambient cold explosive was considered as early as in the pioneer publications. An approximated self-similar solution to the problem of single hot spot development was obtained. The following conclusions were drawn from these computations:

1. The growth of hot spots that enables the conversion of shock into detonation and its dependence on pressure are determined by energy transport processes. The heat transport wave should be «attached» to the combustion wave due to the common mechanism of reaction rate growth and energy transport; otherwise, energy will go ahead, and combustion in the spot will quickly attenuate. The zone of combustion in the hot spot is comparable

to the spot size; therefore its width cannot be ignored in computations and, all the more, dependencies of combustion front velocity on pressure obtained in large-scale experiments cannot be borrowed.

2. One can suppose that in large-scale combustion of explosives, the pressure dependence of combustion front velocity is primarily governed by the process of energy transport. Thus, the importance of studying heat conductivity of explosives in the combustion zone in a wide range of pressures from units of atmospheres to hundreds of kilobars becomes evident.

Some aspects however remained unclear in constructing the approximated self-similar solution:

1) We assumed the energy flow to be related to molecular heat conductivity. In order for the energy flow to vanish at the hot spot boundary, the heat conductivity factor χ should be assumed proportionate to the content of explosion products, which in fact follows from nothing. We showed at the level of estimates that the growth of χ and its vanishing at the spot boundary can most naturally be explained by the turbulent mechanism of energy transport.

2) The expression for estimating the rates of hot spot growth $V \approx d/\tau$, where $d \approx 100$ microns is the grain size and $\tau \approx 1$ μ sec is the time of induction, provides $V \approx 100$ m/s. Such a rate can be attributed only to the turbulent mechanism of energy transport. It also follows from the analysis of experimental induction time that in order to obtain such a growth rate, the value of χ in explosion products should be at least 2–3 orders as high as its value under normal conditions.

3) In the MK model, the heat conductivity factor χ , which actualizes the hot spot growth, was assumed proportionate to P^2 (P is the pressure). This should explain the initiation criterion of $P^2\tau = \text{const}$ known from the practice. The approximated estimates provide a close dependence of χ on pressure.

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СМЕСИ ТЕТРАНITРОПЕНТАЭРИТРИТА И НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ Ni-C

Б. П. АДУЕВ, Г. М. БЕЛОКУРОВ, С. С. ГРЕЧИН,
А. Г. КРЕЧЕТОВ, Н. В. НЕЛЮБИНА,
Д. Р. НУРМУХАМЕТОВ

Кемеровский филиал Института химии твердого тела
и механохимии СО РАН,
Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Представлены первые результаты по инициированию тетранитропентаэритрита (ТЭНа) с добавкой 5% наночастиц Ni-C с характерными размерами 60–100 нм. Частицы Ni-C синтезированы методом механохимических реакций (В. Bokhanov, M. Korchagin // *Journal of Alloys and Compounds* 333, 308–320 (2002)). Образцы представляли собой прессованные таблетки из ТЭНа диаметром 3 мм, толщиной 1 мм, плотностью 1,7 г/см³. Иницирование осуществлялось импульсами лазера на неодимовом стекле (1,06 мкм, 20 нс) и электронными (0,25 МэВ, 30 нс) пучками. Измерение амплитудно-временных характеристик взрывного разложения осуществлялось с помощью пьезоакустического детектора, сигнал которого пропорционален давлению ударной волны, возникающей при взрыве. Проводилось сравнение с результатами, полученными на образцах из чистого ТЭНа. Поверхность образца со стороны облучения накрылась стеклянной пластиной, вторая поверхность находилась в акустическом контакте с линией задержки пьезоакустического детектора.

При лазерном воздействии инициирование чистых образцов осуществить не удалось при максимальной плотности энергии 90 Дж/см². Наблюдалась эрозия поверхности, сопровождающаяся относительно слабым акустическим сигналом в микросекундном временном диапазоне. Этот результат свидетельствует об инициировании химической экзотермической реакции, не переходящей во взрыв. Образцы с добавками Ni-C взрываются в диапазоне плотности энергии 20–90 Дж/см². При понижении энергии наблюдается частичный взрыв. Эффект, аналогичный полученному на чистых образцах при максимальной плотности энергии, наблюдается при плотности ~6 Дж/см².

При электронно-пучковом инициировании с плотностью энергии 30 Дж/см² временные характеристики взрывного разложения образцов с Ni-C соответствуют характеристикам, полученным при лазерном инициировании. Иницирование

таблеток без добавок Ni-C дает аналогичные результаты. В отдельной группе экспериментов пьезоакустический детектор находился на различных расстояниях от образца. По задержке сигнала определена скорость распространения ударной волны, создаваемая продуктами взрыва, которая составила $5 \cdot 10^3$ м/с.

Работа выполнена при поддержке регионального гранта РФФИ #07-02-96009.

SOME FEATURES OF EXPLOSIVE DECOMPOSITION OF PENTAERYTHRITOL TETRANITRATE AND NI-C NANOPARTICLES MECHANICAL MIXTURE

B. P. ADUEV, G. M. BELOKUROV, S. S. GRECHIN,
A. G. KRECHETOV, N. V. NELJUBINA,
D. R. NURMUKHAMEDOV

Kemerovo branch of Institute of solid chemistry
and mechanochemistry SB RAS
Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Initiation of pentaerythritol tetranitrate (PETN) with 5% Ni-C addition (typical size 60–100 nm) is resulted. Ni-C particles have been synthesized by the mechanochemical reaction method (B. Bokhanov, M. Korchagin // Journal of Alloys and Compounds 333, 308–320 (2002)). Pressed PETN tablets with diameter 3 mm, thickness 1 mm, density $1,7 \text{ g/sm}^3$ were used. The initiation was realized by laser pulses on neodymium glass (1,06 μm , 20 ns) and electron beams (0,25 MeV, 30 ns). Time-amplitude characteristics of explosive decomposition were measured by piezoacoustic detector. Its signal was proportionate to blast wave pressure appeared at the explosive moment. Results were compared with ones having been obtained for pure PETN. From the exposure side sample surface was covered by glass plate. The second side was in the acoustic contact with delay line of the piezoacoustic detector.

We were not succeeded in laser initiation of pure samples at maximum density 90 J/sm^2 . Surface erosion was observed. It was accompanied by weak acoustic signal in microsecond time range. This result is an evidence of initiation of chemical exothermic reaction, which does not turn to explosive. Ni-C addition samples burst in the density range $20\text{--}90 \text{ J/sm}^2$. Partial explosive is observed at the energy lowering. At density $\sim 6 \text{ J/sm}^2$ effect is similar to the one observed for the pure samples at maximum energy density.

At electron-beam initiation (energy density 30 J/sm^2) time characteristics of the samples with Ni-C explosive decomposition are similar to

ones obtained at laser initiation. There are analogous results at initiation of tablets without Ni-C addition. During separate experiments there was different distance from piezoacoustic detector to a sample. Speed of blast wave propagation produced by explosive products is determined at signal delay. It comes to $5 \cdot 10^3$ m/s.

The investigation is realized under support of RFFI grant by the theme «Spectrum-kinetics characteristics of explosive glowing of composite material on the base of pentaerythritol tetranitrate and ultra-nanodispersion carbon materials and metals particles», #07-02-96009.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ТЕТРАНИТРАТА ПЕНТАЭРИТРИТА

Э. Д. АЛУКЕР¹, А. Г. КРЕЧЕТОВ¹,
Е. А. КАЗАКОВА², Б. Г. ЛОБОЙКО²,
Д. Р. НУРМУХАМЕТОВ³, В. П. ФИЛИН²

¹Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

²Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

³Кемеровский филиал Института химии твердого
тела и механохимии СО РАН, Кемерово, Россия

Все известные исследования лазерного инициирования бризантных взрывчатых веществ проводятся при помещении образца в оболочку, выполняющую некую «поддерживающую» функцию. Однако, если начальные стадии взрывного разложения включают в себя термоактивированные процессы, то повышение исходной температуры образца может существенно изменить ситуацию. В этом случае термостимулированное увеличение скорости актуальных процессов может привести к развитию самоподдерживающейся реакции взрывного разложения при инициировании открытой поверхности образца. Проверка этой возможности и явилась задачей данной работы.

Исходным материалом для исследований служил порошкообразный тетранитрат пента-эритрита (ТЭН) с дисперсностью ~ 10 мкм. Навеска порошка массой 5 мг помещалась в лунку медного нагревателя, нагревалась до 450 К (температура плавления ТЭНа — 414 К), после чего нагреватель выключался и охлаждался до температуры, при которой производилось инициирование.

Иницирование открытой поверхности образца осуществлялась импульсным лазером на фосфатном стекле, активированном неодимом (1,06 мкм, 10 нс, 1–5 Дж). Лазерный пучок формировался с помощью линзы в пятно, диаметр которого варьировался в пределах 4–8 мм. Измерялась зависимость вероятности взрыва от плотности энергии иницирующего импульса при различных температурах образца.

Установлено, что повышение температуры образца в диапазоне 393–450 К приводит к изменению порога иницирования от 3 до 0,5 Дж/см², причем во всем этом температурном диапазоне реализуется иницирование взрыва образца с открытой поверхностью.

Путем экстраполяции экспериментальных результатов определена энергия активации термостимулированной стадии. Ее величина составляет $0,35 \pm 0,05$ эВ, что существенно ниже энергии активации чисто теплового иницирования (1,3–1,6 эВ). Этот результат свидетельствует о двухстадийности процесса лазерного иницирования ТЭНа, т. е. о наличии фото- и термостимулированных стадий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 05-03-32010-а).

TEMPERATURE INFLUENCE TO THE LASER INITIATION OF PENTAERYTHRITOL TETRANITRATE

E. D. ALUKER¹, A. G. KRECHETOV¹,
E. A. KAZAKOVA², B. G. LOBOIKO²,
D. R. NURMUKHAMETOV³, V. P. FILIN²

¹Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

²Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

³Kemerovo branch of Institute of solid chemistry
and mechanochemistry SB RAS, Kemerovo, Russia

All known investigations of blasting high explosives laser initiation are carried out when a sample is put into a cover which plays some «supporting» role. However if thermoactivated processes are included in initial stages of explosive decomposition then the situation could be changed considerably by initial temperature increasing. In such a case thermoactivated increasing of actual processes velocity may be resulted in developing of explosive decomposition self-sustaining reaction at initiation of open sample surface. The present work task was testing of such possibility.

Powdery Pentaerythritol Tetranitrate (PETN) with dispersion ~ 10 μm was initial material. 5 mg powder butch weighing 5 mg was put into copper heater cup and heated up to 450 K (PETN melting point is 414 K). After that the heater was turned off and cooled off up to the initiation temperature.

Sample open surface was initiated by pulse laser on the phosphate glass activated by neodymium (1,06 μm, 10 ns, 1–5 J). With using a lens a laser beam was moulded in a spot. Its diameter was varied within 4–8 mm. Dependence of explosion probability from energy density of initiating pulse was measured at various sample temperatures.

It was ascertained sample temperature increasing in range 393–450 K is resulted in initiation threshold changing from 3 J/sm² up to 0,5 J/sm². And in this all temperature range explosion initiation of sample with open surface is realized.

By force of experimental results extrapolation thermoactivated stage activation energy is determined. It is 0.35 ± 0.05 eV and this value is considerably lower than activation energy of simple heat initiation (1.3–1.6 eV). This result is an argument for two-stage process of PETN laser initiation, i. e. for existing of photo- and thermostimulated stages.

The investigation is realized under support of RFFI grant # 05-03-32010a.

РАЗРУШЕНИЕ И ГАЗИФИКАЦИЯ ТЭНА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

В. И. Олешко, В. И. Корепанов,
В. М. Лисицын, В. П. Ципилев

Томский политехнический университет,
Томск, Россия

Ранее нами было осуществлено иницирование прессованных образцов тэна электронным пучком наносекундной длительности. Определена пороговая плотность мощности, при которой происходит детонация тэна, измерена кинетика взрывного свечения. В данной работе исследована морфология разрушения, газификация и свечение микрористаллов тэна со средними размерами 500–700 мкм при облучении электронным пучком с длительностью импульса тока ~ 15 нс и плотностью энергии W , варьируемой в диапазоне 0,05–1 Дж/см². Установлено, что средний порог разрушения образцов в режиме однократного облучения составляет $W \sim 0,1$ Дж/см², что

в несколько раз меньше по сравнению с порогом разрушения щелочно-галогидных кристаллов. Исследование морфологии разрушения монокристаллов тэна свидетельствует о сильном дроблении образца и образовании множества микрокристаллов различных размеров (1–10 мкм). При $W \sim 0,5$ Дж/см² продукты абляции разлетаются из зоны облучения навстречу электронному пучку. Обсуждаются возможные механизмы разрушения монокристаллов. Сделано предположение о том, что разрушение и газификация монокристаллов тэна, являются следствием развития электрического пробоя. Низкий порог разрушения тэна и высокая скорость разлета продуктов абляции (по сравнению с инертными материалами) указывает на возможность вклада химической энергии разложения тэна в диспергирование и газификацию образцов. Анализ экспериментальных данных, полученных к настоящему времени позволяет предположить следующую последовательность физико-химических процессов, развивающихся в монокристаллах тэна при облучении электронным пучком с плотностью энергии не достаточной для инициирования детонации. При достижении пороговой плотности электронного пучка $\sim 0,1$ Дж/см² происходит электрический пробой тэна (формирование «горячих точек», роль которых выполняют каналы электрического пробоя), диспергирование и газификация взрывчатого вещества. Химическая реакция запускается в микрообъемах образца (в плазме, образующейся в каналах электрического пробоя). Одновременно происходит газодинамическая разгрузка и выброс продуктов абляции навстречу электронному пучку. Интенсивность свечения микроплазм при этом еще недостаточна для регистрации на фоне интенсивной катодoluminesценции образца. С ростом плотности энергии электронного пучка увеличивается энергия, выделяющаяся в микроплазмах и, соответственно, доля химической энергии взрывчатого вещества. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 06-03-32724.

DESTRUCTION AND GASIFICATION OF PETN UNDER IRRADIATION BY ELECTRON BEAM

V. I. OLESHKO, V. I. KOREPANOV,
V. M. LISITSYN, V. P. TSIPILEV

Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

Recently we have done the initiation of pressed samples of PETN by electron beam with nanosecond duration. We have been specified the threshold

density of power, which leads to a destruction of PETN, and we have been measured the kinetics of explosive glow. In this work it has been studied the morphology of destruction, gasification and glow of microcrystals of PETN with the average sizes of 500–700 μm under irradiation by electron beam with a pulse duration about 15 ns and density of power W , in the range 0,05–1 J/cm². It has been ascertained the average threshold of destruction of samples in a single mode of irradiation was equal $W \sim 0,1$ J/cm², that is several times less in comparison with the threshold of destruction of alkali halide crystals. The study of destruction morphology of the PETN monocrystals testified to the heavy crushing of sample and creation of a great number of microcrystals with the different sizes (1–10 μm). The products of ablation are scattered from a zone of irradiation in the opposite direction of electron beam at $W \sim 0,5$ J/cm². It is discussed possible mechanisms of destruction of monocrystals. We supposed that destruction and gasification of PETN monocrystals is a result of the electrical breakdown. The low threshold of PETN destruction and high speed of scattering of products of ablation (in comparison with the inert material) indicates on the possibility of addition of chemical reaction in the processes of disintegration and gasification of samples. Analysis of experimental data obtained to the present moment allows us to propose the following sequence of physical-chemical processes, developing in PETN monocrystals under irradiation by electron beam with power density is not enough for initiation of detonation. At attainment of threshold density of power $\sim 0,1$ J/cm² the electrical breakdown of PETN takes place (creation of «hot-spot», which is a channel of electrical breakdown), disintegration and gasification of explosive sample take place too. Chemical reaction is executed in microvolumes of sample (in plasma, which forms in a channel of electrical breakdown). Simultaneously the gas-dynamic unloading and ejection of the products of ablation occurs in the opposite direction of electron beam. The intensity of glow microplasma is not enough for registration against a cathodoluminescence background of sample. With growth of power density of electron beam increases energy which is segregating in hot-spots and part of chemical energy of explosive. This work was supported by RFBR, grant no. 06-03-32724.

МОДЕЛЬ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВВ С УЧЕТОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ И РАЗГРУЗКИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

В. Г. Морозов, И. И. Карпенко,
Л. В. Дмитриева, Н. В. Корепова,
С. Ю. Суслова, С. С. Соколов, Б. Н. Шамраев,
Т. Л. Гребенникова, С. М. Бахрах,
Н. А. Володина, М. О. Ширшова

Российский федеральный ядерный центр —
ВНИИ экспериментальной физики, Саров, Россия

Рассматривается современное состояние феноменологической модели кинетики детонации твердых гетерогенных ВВ. Модель позволяет учитывать влияние предварительной нагрузки и разгрузки на ударно-волновую чувствительность ВВ. Модель калибруется и верифицируется на большом числе специальных газодинамических и рентгенографических экспериментов, что позволяет использовать ее предсказательную способность в широком диапазоне ударно-волновых воздействий.

Модель кинетики детонации (МК) развивалась коллективом теоретиков и математиков под руководством В. Г. Морозова с опорой на эксперимент.

Модель основана на предположении о формировании горячих точек (ГТ) на неоднородностях структуры гетерогенных ВВ при сжатии ударной волной, их росте (или затухании) в зависимости от величины давления в ВВ, схлопывании очагов при соприкосновении — переходе во взрыв. Уравнения макрокинетики опираются на функциональные зависимости, полученные при анализе роста единичного горячего очага в окружающем сжатом «холодном» ВВ.

Основные требования в модели: модель передает зависимость ударно-волновой чувствительности ВВ от пористости, уменьшение чувствительности при предварительном нагружении (десенсбилизация) и увеличение ударно-волновой чувствительности за волной разгрузки (сенсбилизация).

Модель калибруется и верифицируется на большом числе специальных экспериментов. Как минимум, это следующие: 1) глубина преддетонационного участка при заданной величине давления на границе ВВ; 2) инициирование ударом тонких пластин; 3) отражение ударной волны от преграды; 4) инициирование ВВ на расходящейся ударной волне; 5) взаимодействие ударной и детонационной волны; 6) инициирование детонации ВВ в области разгрузки и другие опыты. Метод импульсной рентгенографии предоставляет большие возможности для получения эксперименталь-

ных данных по формированию ДВ в ВВ, так как дает возможность визуализировать исследуемый процесс. Для верификации модели широко используются специальные двумерные рентгенографические эксперименты инициирования детонации в критических и переходных режимах, в том числе с предварительным нагревом ВВ. Результаты расчетов на рисунках совмещаются с рентгенограммами, что позволяет в сравнении определить положение фронтов детонации и невыгоревших зон в ВВ.

Модель включена в одномерные, двумерные и трехмерные газодинамические методики (hydrocodes) и имеет самосогласованный набор констант для ряда ВВ на основе ТАТБ, октогена, гексогена, ТЭНа, который не изменяется при переходе от одномерных к двумерным и трехмерным расчетам.

Модель позволяет рассчитывать количественно режимы неидеальной детонации — критический диаметр, переход детонации через инертную перегородку, инициирование ВВ ударом стального шарика.

Накоплен опыт применения модели в широком диапазоне ударно-волновых воздействий.

ОБЪЕДИНЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЕТОНАЦИИ ВЗРЫВЧАТОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ТАТБ

К. Ф. Гребенкин, А. Л. Жеребцов,
М. В. Тараник, С. К. Царенкова, А. С. Шнитко

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

Экспериментальные данные указывают на то, что макрокинетика детонирующих ВВ с высоким содержанием углерода (тротил, ТАТБ, смеси тротил-гексоген, тротил-октоген, ТАТБ-октоген) характеризуется двумя временными масштабами. Это интерпретируется как проявление двух стадий процесса выделения энергии — быстрой и медленной.

Быстрая кинетика связана с химическими реакциями разрушения исходных молекул ВВ и образования устойчивых двух- и трехатомных молекул ПВ. Характерное время этого процесса в стационарных режимах детонации порядка десятков наносекунд.

Медленная кинетика представляет собой энерговыделение в ПВ в процессе роста углеродных кластеров. Относительный энергетический эффект этой стадии зависит от содержания свободного

углерода в ПВ. Характерное время медленного процесса – это величина, сравнимая с временами газодинамических процессов (~300 нс в ТАТБ). Ширина химика стационарной детонационной волны в ТАТБ и тротиле определяется именно медленной кинетикой.

Эффекты медленной кинетики проявляются во многих экспериментах, в частности, в газодинамических опытах, где исследуется взаимодействие детонационных волн с различными преградами. В докладе приводится обзор таких экспериментов, их характерной особенностью является наличие масштабного эффекта: размеры заряда ВВ оказывают существенное влияние на эффективное значение теплоты взрыва и эффективное давление Жуге. Если в явном виде не учитывать медленную кинетику, то для описания масштабных экспериментов приходится подбирать эффективную калорийность ВВ для данной конфигурации заряда. Такой подход вызывает неудовлетворенность с теоретической точки зрения, и актуальной задачей является разработка нового поколения моделей детонации, которые адекватно учитывают обе стадии кинетики.

В данном докладе предлагается физическая модель детонации ВС на основе ТАТБ типа LX-17 и PBX 9502, в которой объединены температурная модель быстрой кинетики и модель медленной кинетики. Представлены результаты работ по верификации объединенной модели детонации путем расчетного моделирования экспериментов, в которых исследовалось возбуждение и распространение детонации в LX-17 и PBX 9502.

UNIFIED MODEL OF DETONATION IN TATB-BASED COMPOSITION

K. F. GREBENKIN, A. L. ZHEREBTSOV,
M. V. TARANIK, S. K. TSARENKOVA, A. S. SHNITKO

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

Experimental data demonstrates that kinetics of the energy release in detonating HEs having high content of carbon (TNT, TATB, TNT/RDX, TATB/HMX, etc.) is characterized by two different time scales. This is interpreted as indication on the existence of two physical processes of the different nature resulting in release of energy, namely the fast and slow kinetics.

The fast kinetics is a result of the chemical reactions of the HE molecules destruction and formations of stable small molecules of explosion products (EP). Typical time of this process in

stationary detonation wave is about some tens of nanosecond.

The slow kinetics is a result of the highly exothermic process of the condensed carbon clusters growth in EP. The fraction of the total caloricity released at this stage depends on the carbon content in HE. Typical time of the slow kinetics is comparable with that typical for detonation experiments (something about 300 ns in TATB).

The slow kinetics may be exposed in many different experiments, such as detonation synthesis of nanodiamonds, measurements of heat of explosion of HEs with negative oxygen balance and, at last, a lot of experiments where propagation of detonation waves and their interaction with various materials are studied. Due to the slow kinetics, in all these experiments some scale effects are observed, that is specific dependence of experimental results on the explosive charge size. These results may be observed sizes and yield of the nanodiamonds, measured heat of explosion, effective value of Jouget pressure etc.

If the slow kinetic is not considered explicitly than some effective values of caloricity and detonation pressure must be adjusted for the given configuration of the charge. Such approach seems not to be satisfactory from theoretical point of view, and the actual problem is development of advanced models of detonation taking into account the both stage of the energy release.

In the given report the physical model of detonation in TATB-based composition is suggested. The model unifies the fast temperature-based kinetic and the slow kinetic from. The results of numerical simulation of some experiments on studies of detonation initiation and propagation in TATB-based composition LX-17 and PBX-9502 are given that allows to have verified the model.

ДВОЙНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛНАХ

М. Ю. АНДРЕЕВ, П. И. ЗУБКОВ, В. Г. СВИХ

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

Ранее при исследовании проводимости, возникающей в детонационной волне, нами были обнаружены две зоны электропроводности. Первая узкая зона с высоким пиком и вторая широкая, со значительно меньшим, чем в первой зоне, значением электропроводности. Зоны разделены

узкой областью с исчезающе малой электропроводностью. На осциллограммах процессов изменений указанные области отделены друг от друга короткой полочкой между двумя спадами напряжений, полочка названа нами «особенностью». Исследования проводились контактной методикой коаксиальной измерительной ячейкой с утопленным центральным электродом.

Частью исследователей полученные результаты были подвергнуты сомнению. При этом утверждалось, что «особенность» на осциллограмме определяется не исследуемым явлением, а краевым эффектом. Для разделения влияния краевого эффекта и двойного распределения был проведен численный эксперимент.

В численном эксперименте была промоделирована применявшаяся в исследованиях коаксиальная измерительная ячейка. Детонационная волна замененадвигающимся со скоростью детонации профилем электропроводности. В численном эксперименте рассчитывалось распределение потенциала, распределение плотности тока, сопротивление измерительной ячейки и восстанавливалась экспериментальная осциллограмма. По осциллограмме восстанавливалось распределение электропроводности таким же способом как и в натуральных экспериментах. Экспериментальная осциллограмма восстанавливалась по той причине, что она является первичным носителем информации.

Задача состоит в получении распределения электрического потенциала при заданной конфигурации электродов и электропроводности. Для его нахождения решалось уравнение $\operatorname{div}(\sigma \cdot \vec{E}) = 0$. В этой постановке конфигурация электродов и изоляторов определяет граничные условия, а распределение электропроводности свободные члены. В работе рассматривался случай с коаксиальными электродами, и поэтому уравнение решалось для цилиндрических координат. Считается, что электропроводность является функцией координаты z , $\sigma(z)$. Полученное уравнение в плоскости $[RZ]$ решалось конечно-разностными методами, с введением равномерной квадратной сетки. Для решения задачи была написана программа на языке C++.

Одним из основных результатов численного эксперимента является наличие особенности на осциллограмме процесса при двойном распределении электропроводности. При однократном распределении особенность на осциллограмме не возникает. Кроме того при последующем восстановлении электропроводности по осциллограмме так же получены две зоны электропроводности разделенные зоной с низкой электропроводностью. Таким образом, мы считаем, что факт двойного распределения электропроводности в детонационной волне получил независимое подтверждение.

В настоящем докладе приведены постановка и результаты численного эксперимента и натуральных экспериментов, проведенных в насыпных тэне, гексогене, октогене, тротиле и литом тротиле. Во всех исследованных взрывчатых веществах обнаружены двойные распределения электропроводности в детонационных волнах.

ДЕТОНАЦИИ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ. ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ДИАМЕТРА ЗАРЯДА

А. Е. МЕДВЕДЕВ, А. Ю. РЕШЕТНЯК,
В. М. ФОМИН

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН,
Новосибирск, Россия

Предложен механизм детонации эмульсионных взрывчатых веществ с микросферами в зарядах конечного диаметра. Получена параметрическая зависимость скорости детонации от характеристик заряда. Объяснено, почему ширина зоны реакции растет с увеличением плотности заряда. Показано, что в точке Чепмена-Жуге не происходит полного выгорания эмульсии. Даны конечные формулы для скорости детонации, времени и ширины зоны реакции.

Эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ) состоят из эмульсионной основы (аммиачная селитра, вода, минеральное масло и эмульгатора) и сенсibilизатора. В качестве сенсibilизатора используют полые микросферы (стеклянные шарики) размера около 100 микрон (от 20 до 70% по объему). Эмульсионные ВВ широко применяются в горнорудной промышленности.

Для эмульсионных ВВ характерна немонотонная зависимости скорости детонации от плотности заряда (это объясняется увеличением ширины зоны реакции).

Разработанная модель детонации эмульсионных ВВ основана на двух гипотез: 1-ая — микросферы являются «горячими точками», в которых происходит инициализация реакции горения эмульсии; 2-ая — горение эмульсии происходит внутри «сферы горения».

Зона реакции разделяется на две: 1) зона разрушения и схлопывания микросферы; 2) зона выгорания в «сфере горения». Находятся ширина 1-ой и 2-ой зон, времена схлопывания микросфер и горения эмульсии. Определяется скорость детонации

D в заряде диаметра d_{mb} в зависимости от объемной доли m_{mb} и диаметра d_{mb} микросфер в виде

$$D(m_{mb}; \tau_0, d_{exp}, d_{mb}) = \frac{D_0(m_{mb}; \tau_0)}{1 + \frac{n}{n+1} \frac{D_0(m_{mb}; \tau_0)}{d_{exp}} \left(\varphi_c \sqrt{d_{mb}} + \varphi_b \tau_0 \frac{d_{mb}^3}{m_{mb}} \right)}$$

Найдено, что ширина зоны реакции обратно пропорциональна кубическому корню от плотности заряда. Показано, что в точке Чепмена-Жуге не происходит полного выгорания эмульсии. Результаты согласуются с экспериментальными данными.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ #НШ-9732.2006.1.

DETONATION OF EMULSION EXPLOSIVES. DEPENDENCE ON THE CHARGE DIAMETER

A. E. MEDVEDEV, A. YU. RESHETNYAK,
V. M. FOMIN

Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

A mechanism of detonation of emulsion explosives with microballoons in finite-diameter charges is proposed. A parametric dependence of the detonation velocity on the charge characteristics is obtained. The fact that the reaction-zone width increases with increasing charge density is explained. It is shown that complete burnout of emulsion does not occur at the Chapman-Jouguet point. Formulas for the detonation velocity, time, and width of the reaction zone are given.

Emulsion explosives consist of an emulsion binder (ammonium nitrate, water, mineral oil, and emulsifying agent) and a sensitizer. The sensitizer is usually hollow microballoons (glass balls) approximately 100 microns in size (from 20 to 70% (vol.)). Emulsion explosives are widely used in mining industry.

A typical feature of emulsion explosives is a nonmonotonic dependence of the detonation velocity on the charge density (this is attributed to an increase in the reaction-zone width).

The model of detonation of emulsion explosives is based on two hypotheses: 1) the microballoons are «hot spots» where the emulsion combustion reaction is initiated; 2) emulsion combustion occurs inside the «combustion sphere».

The reaction zone is divided into two parts: 1) zone of microballoon destruction and collapse; 2) zone of burnout in the «combustion sphere». The widths of the two zones, the microballoon collapse time, and the emulsion combustion time are found. The detonation velocity D in the charge of diameter d_{mb} is determined as a function of the volume fraction m_{mb} and diameter d_{mb} of microballoons in the form

$$D(m_{mb}; \tau_0, d_{exp}, d_{mb}) = \frac{D_0(m_{mb}; \tau_0)}{1 + \frac{n}{n+1} \frac{D_0(m_{mb}; \tau_0)}{d_{exp}} \left(\varphi_c \sqrt{d_{mb}} + \varphi_b \tau_0 \frac{d_{mb}^3}{m_{mb}} \right)}$$

The reaction-zone width is found to be inversely proportional to the cubic root of the charge density. It is shown that complete burnout of emulsion does not occur at the Chapman-Jouguet point. The results obtained are consistent with experimental data.

This work was supported by the grant of the President of the Russian Federation No. NSh-9732.2006.1.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ЧИСТЫХ И СМЕСЕВЫХ ВВ

А. П. ЕРШОВ, Н. П. САТОНКИНА

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

Структура зоны реакции в детонационной волне обычно исследуется путем измерения механических параметров, например скорости внутри вещества или на границе раздела. Такие измерения сильно возмущают исследуемый процесс. В данной работе для исследования детонации применены измерения электропроводности. Методика измерения профиля электропроводности, развитая нами в последние годы, является практически невозмущающей. Достигнуто разрешение лучше 0,1 мм, а диапазон измерений существенно расширен. Это позволяет исследовать такие вещества, как тэн, гексоген и октоген, а также смеси тротила с гексогеном. Существенно, что диагностика применима к веществам различной плотности.

В чистых ВВ на фронте волны наблюдается узкий пик электропроводности амплитудой несколько $\text{Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$, за которым следует «хвост», где электропроводность в несколько раз меньше.

Длительность пика (40–70 нс) близка к длительности зоны реакции, известной из литературы. Это указывает на связь пика электропроводности с зоной реакции, тогда как проводимость в «хвосте», по-видимому, имеет равновесную природу.

В смесевых веществах, если времена реакции компонент заметно различаются, длительность пика определяется более медленной реакцией. На пример, в составе ТГ 40/60 плотности 1,52 г/см³ ширина пика 90 нс, что заметно превышает длительность зоны реакции в гексогене, но согласуется с имеющимися данными для тротила.

В гетерогенных составах по окончании основной реакции возможны последующие мезопроцессы, характерным масштабом которых является размер частиц ВВ и/или добавки. На данный момент изучены смеси гексогена с водой, мелкодисперсной поваренной солью и с насыщенным раствором соли в воде. Не сказываясь заметно на амплитуде пика, эти добавки влияют на его длительность и на электропроводность в «хвосте», причем максимальные величины достигаются для последней смеси.

Таким образом, электрическая диагностика дает полезную информацию, дополнительную к получаемой стандартными методами.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 05-03-32412) и научной школы НШ–8583.2006.1.

ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN DETONATING PURE EXPLOSIVES AND MIXTURES

A. P. ERSHOV, N. P. SATONKINA

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

The structure of the reaction zone in detonation is studied usually by measuring the profiles of mechanical parameters like flow velocity within the explosive or at the interface. Such measurements introduce strong disturbances. In the present paper the detonation wave is studied using the electrical conductivity method. The measuring procedure developed recently is practically non-invasive. The resolution better than 0.1 mm is achieved, and the measurable conductivity range is substantially extended. The explosives studied are PETN, RDX, HMX, RDX/TNT compositions and some mixtures. The diagnostics can be used with different densities of the explosives.

In pure explosives rather sharp conductivity peak at the detonation wave front was observed, of

several Ohm⁻¹cm⁻¹ in amplitude. The peak is followed by the «tail», in which the conductivity is several times lower. The duration of the peak (40–70 ns) is close to that of the reaction zone according to the literature data. This suggests the correlation of the conductivity peak and the reaction zone while the «tail» conductivity seems to be of equilibrium nature.

In mixtures, given the substantial difference in the reaction rates of the components, the peak is determined by slower reaction. For example, in Composition B at 1.52 g/cc the peak duration is 90 ns, which is too long for RDX but in good agreement with the available data for TNT.

In heterogeneous compositions the main reaction can be accompanied by post-meso-processes whose characteristic scale is the size of the explosive and/or additive particles. At present the mixtures of RDX with water, fine-grained NaCl and saturated NaCl water solution have been tested. While the peak amplitude was not affected, the peak duration and «tail» conductivity were enhanced, especially in the last case.

So, the electrical diagnostics gives interesting information complementary to that obtained by the standard methods.

This work was supported by RFBR (project code 05-03-32412) and by the scientific school NSc – 8583.2006.1.

РЕЖИМЫ СТАЦИОНАРНОЙ ДЕТОНАЦИИ В ПРЕССОВАННОМ TNETB

С. А. КОЛЕСНИКОВ, А. В. УТКИН,
В. М. МОЧАЛОВА, А. В. АНАЬИН

Институт проблем химической физики РАН,
Черноголовка, Россия

С использованием лазерного доплеровского интерферометра VISAR проведены экспериментальные исследования структуры зоны реакции и зависимости скорости детонации от начальной плотности в стационарных детонационных волнах в прессованном TNETB при различной пористости образцов и дисперсности исходного порошка взрывчатого вещества (ВВ). Диаметр исследуемых зарядов был равен 30 мм, их длина менялась от 40 до 75 мм, что позволило с уверенностью говорить о стационарности наблюдавшихся в опытах детонационных волн. Зондирующее лазерное излучение отражалось от алюминиевой фольги толщиной 50–400 мкм, расположен-

ной между торцом заряда и диагностическим окном. Экспериментальные данные представляют собой скорость движения поверхности фольги, граничащей с материалом окна (вода, LiF). Одновременно с регистрацией волновых профилей методикой ионизационных датчиков в ряде опытов проводилось измерение скорости детонации. Погрешность измерения скорости составила величину, не превышающую $\pm 0,25\%$.

Показано, что для образцов крупнодисперсно (средний размер частиц $r_{\text{средн}} \sim 120$ мкм) TNETB существует диапазон пористости 3,3–15,2%, в котором возможно распространение стационарной детонационной волны без предсказываемой классической теорией области повышенных давлений в зоне реакции (химпика). В образцах мелкодисперсного ($r_{\text{средн}} \sim 5$ мкм) TNETB верхняя граница этого диапазона увеличивается до 29%. На зависимости скорости детонации от начальной плотности обнаружены особенности, свидетельствующие о том, что наблюдаемый в данном диапазоне детонационный режим без химпика может быть стационарным недосжатым режимом.

На основе анализа полученных экспериментальных данных с привлечением известных теоретических представлений об очаговом механизме разложения гетерогенных ВВ показано, что возможность существования стационарной детонационной волны без химпика, в том числе и стационарного недосжатого детонационного режима, а также влияние различных характеристик микроструктуры зарядов, таких, как дисперсность исходного порошка ВВ, параметры распределения пор по размерам, на реализующийся в них детонационный режим объясняется разложением ВВ во фронте ударной волны.

sizes. The laser beam reflected from a 50–400 μm aluminum foil placed between the charge and the diagnostic window. As a result of the experiment we had the velocity of the boundary between the foil and the material of the window (water, LiF). For the simultaneous measuring of the detonation velocity contact gauges were used in a number of experiments. Estimated error of these measurements amounted to no more than $\pm 0.25\%$.

It is shown that the range of porosity of samples from 3.3 to 15.2% in which a propagation of the steady-state detonation wave without the Von Neumann spike predicted by classical detonation theory is possible exists in coarse TNETB (mean particle size ~ 120 μm). In samples of fine (mean particle size ~ 5 μm) TNETB the upper limit of that range of porosity increases to 29%. Some discontinuities of the dependence of detonation velocity on initial density that might be the witness of observed detonation regime without the Von Neumann spike to be the steady-state underdriven detonation regime were found.

On the basis of analysis of obtained experimental results with the use of noted theoretical concept of «hot spots» mechanism of decomposition of heterogeneous HE it is shown that the possibility of propagation of steady-state detonation waves without the Von Neumann spike and steady-state underdriven detonation waves, as well as the influence of microstructural characteristics of charges such as HE powder dispersity and pore sizes distribution parameters upon these regimes can be explained by HE decomposition in the shock wave front.

STEADY-STATE DETONATION REGIMES IN PRESSED TNETB

S. A. KOLESNIKOV, A. V. UTKIN,
V. M. MOCHALOVA, A. V. ANANIN

Institute of Problems of Chemical Physics RAS,
Chernogolovka, Russia

The laser interferometric system VISAR was used to investigate the reaction zone structure and the dependence of detonation velocity on initial density for steady-state detonation waves in TNETB high explosive (HE) pressed to various porosity from powders with different mean particle sizes. The diameter of the charges was 30 mm and their length varied from 40 to 75 mm. It allowed us to say with confidence that steady-state detonation waves were observed at those geometrical

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВОЙ ДЕТОНАЦИИ

М. М. Бойко, Е. Ф. Грязнов,
В. И. Колпаков, В. Н. Охитин

Московский государственный
технический университет им. Н. Э. Баумана,
Москва, Россия

Экспериментальные данные указывают на возможность существования химпика так и на возможность его отсутствия при изменении плотности и среднего размера частиц прессованного ВВ. Кроме того, эксперименты указывают на существование пульсирующего детонационного фронта не только в «слабых», но и в «сильных» ЖВВ. При регистрации скорости движения поверхности фольги, расположенной между торцом ВВ

и «окном», в случае существования пульсирующей детонации и осреднении параметров по площади регистрируемого пятна, может регистрироваться профиль ДВ без химпика.

Из теоретических исследований известно, что для плоской стационарной ДВ по модели ЗНД в зоне химической реакции достигается максимум энерговыделения. Таким образом необходимым условием существования стационарной плоской ДВ по модели ЗНД является равенство нулю скорости энерговыделения в точке Чепмена—Жуге. Если же кинетика энерговыделения в ДВ такова, что скорость энерговыделения в конце зоны химической реакции не равна нулю, то существование стационарной плоской ДВ становится невозможным и плоская ДВ может существовать только в пульсирующем режиме.

Однако ограничение равенства нулю скорости энерговыделения в конце зоны химической реакции для пересжатых, а так же стационарных ДВ с искривленным фронтом в зарядах ограниченных размеров не является необходимым. Таким образом, для ВВ. У которых возникает неустойчивость ДВ в случае плоских волн, может существовать гладкий фронт с отсутствием пульсаций для пересжатых ДВ при определенных степенях пересжатия, а так же в зарядах конечного размера если кривизна фронта превышает некоторое значение, зависящее от скорости энерговыделения в конце зоны химической реакции, если вид кинетики при этом качественно не изменяется. Для этих случаев должен регистрироваться химпик.

Численные расчеты одномерной плоской детонационной волны проведенные по модели ЗНД для кинетики, при которой в конце зоны химической реакции скорость энерговыделения отлична от нуля подтвердили существование пульсирующего режима.

a pulsing detonation and when the conditions are averaged over the area of the recorded spot, one can observe the detonation wave profile without a chemical spike.

The theoretical investigations show for a plane stationary detonation wave according to ZND model the maximum energy release is achieved in the chemical reaction zone. Thus the necessary condition for the existence of the stationary plane detonation wave according to ZND is the equality to zero of the energy release rate at the Chapman-Jouget. If the energy release kinetics at the detonation wave is that the rate of the energy release at the end of the chemical reaction zone is not equal to zero, the existence of the stationary plane detonation wave is not impossible and the plane detonation wave can exist only in pulsing regime.

However, the equality to zero of the energy release rate at the end of the chemical reaction zone for over-driven, as well as for stationary detonation waves with oblique front in charges of limited sizes is not necessary. Thus, for explosives which show the detonation wave instability in the case of plane waves a smooth front can exist with absence of pulsing for overdriven detonation waves at some definite degrees of over-driven state, as well as in charges of finite sizes if the curvature of the front increases some value. The value depends on the rate of the energy release at the end of the chemical reaction, if the type of the kinetics has not changed qualitatively. A chemical spike should be observed in these cases.

Numerical calculations of a single-dimensional plane detonation wave, made according to ZND model for kinetics, when the rate of energy release differs from zero, confirmed the existence of the pulsing regime.

POSSIBLE REASON OF APPEARANCE OF DETONATION INSTABILITY

M. M. VOIKO, E. F. GRYZANOV,
V. I. KOLPAKOV, V. N. OKHITIN

Bauman Moscow State Technical University,
Moscow, Russia

Test data point at the possibility of existence of chemical spike, as well as its absence when density and average particle size of a pressed explosive are varied. In addition, test show the existence of pulsing detonation front not only in «weak», but in «strong» liquid explosives. When recording the foil surface velocity, located between the end of the explosive and «slit» and when there is

СТРУКТУРА ЗОНЫ РЕАКЦИИ В СТАЦИОНАРНОЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ В ТЕТРАНИТРОМЕТАНЕ

А. В. УТКИН, В. М. МОЧАЛОВА, В. А. ГАРАНИН

Институт проблем химической физики РАН,
Черноголовка, Россия

Протекание химической реакции в ударно-сжатом гомогенном взрывчатом веществе имеет тепловую природу и начальная скорость разложения является сильной функцией энергии активации, которая для жидких ВВ может меняться в широком диапазоне посредством добавления в них инертных разбавителей. Поскольку именно на-

чальная скорость существенным образом влияет на структуру детонационной волны, на устойчивость и пределы ее распространения, то экспериментальное определение величины начальной скорости дает важную для прогнозирования детонации жидких ВВ информацию. В данной работе с использованием лазерного интерферометра VISAR, обладающего наносекундным временным разрешением, проведено экспериментальное исследование структуры зоны реакции при стационарной детонации в тетранитрометане.

В опытах использовался тетранитрометан с начальной плотностью $1,64 \text{ г/см}^3$ и скоростью детонации $6,4 \text{ км/с}$. Заряд ВВ помещался в полиэтиленовую оболочку с внутренним диаметром 40 мм и толщиной стенки 2 мм . Длина заряда составляла 100 мм . Инициирование детонации осуществлялось прессованным зарядом флегматизированного гексогена. Зондирующее излучение отражалось от алюминиевой фольги толщиной $20\text{--}400 \text{ мкм}$, расположенной между торцом заряда и прозрачным окном, в качестве которого использовались вода. В результате измерений определен профиль массовой скорости с отчетливо выраженным химпиком. Причем переход от зоны реакции к волне разгрузки является плавным, что не позволяет точно определить положение точки Чепмена—Жуге. Примерное время реакции составляет 300 нс и давление в химпике, равное примерно $26,4 \text{ ГПа}$, в $1,8$ раза превышает давление Чепмена—Жуге, равное $14,5$. Непосредственно за ударным скачком наблюдается максимальный градиент массовой скорости и за 50 нс амплитуда химпика уменьшается вдвое. По измеренному профилю массовой скорости в зоне реакции получена оценка начальной скорости реакции за ударным скачком, превышая величину $\sim 10^7 \text{ 1/с}$, что характерно для мощных взрывчатых веществ. Таким образом, хотя тетранитрометан имеет низкие параметры в точке Чепмена—Жуге и большую длительность зоны реакции, высокая начальная скорость разложения обеспечивает существование в нем стационарного детонационного фронта.

by means of inert solvent addition to HE. Since initial rate essentially affects on detonation wave structure, stability and limits of propagation, then experimental definition of initial rate value gives important information for the prediction of liquid HE detonation. In a given work with the using of laser interferometer VISAR experimental investigation of reaction zone structure was conducted for steady-state detonation in tetranitromethane.

In experiments tetranitromethane with the initial density 1.64 g/cm^3 and detonation velocity 6.4 km/s was used. HE charge was placed into the polyethylene shell with the internal diameter 40 mm and thickness of the wall 2 mm . Charge length was 100 mm . Initiation of detonation was realized by pressed charge of retarded hexogen. Laser beam was reflected from Al foil with thickness $7\text{--}400 \text{ mkm}$, which was situated between charge butt-end and transparent window, as which water was used. In result of measurements profile of the particle velocity with clearly defined Von Neumann spike was determined. At that transition from reaction zone to unloading wave is smooth, that doesn't allow to define precisely the position of Chapman—Jougeut point. Approximate response time is 300 ns , and pressure in Von-Neumann spike, which is about $26,4 \text{ GPa}$, exceeds pressure in a Chapman—Jougeut point, which is $14,5 \text{ GPa}$, $1,8$ times. Directly beyond the shock jump maximum gradient of particle velocity is observed, and during 50 ns amplitude of Von-Neumann spike decreases twice. By measured profile of particle velocity in reaction zone estimation of initial reaction rate beyond the shock jump was received, which exceeds value $\sim 10^7 \text{ 1/s}$, that is typical for powerful HE. Thus although tetranitromethane has low parameters in the Chapman-Jougeut point and large duration of reaction zone, high initial rate of decomposition provides existence of steady-state detonation front in it.

STRUCTURE OF THE REACTION ZONE IN A STEADY-STATE DETONATION WAVE IN THE TETRANITROMETHANE

A. V. UTKIN, V. M. MOCHALOVA, V. A. GARANIN

Institute of problems of chemical physics RAS,
Chernogolovka, Russia

The chemical reaction in shock-condensed homogeneous HE has heat character, and initial rate of decomposition is strong function of activation energy, which can change for liquid HE in a wide range

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРИ ДЕТОНАЦИИ ЛИТОГО ТРОТИЛА В НЕДОСЖАТОМ, НОРМАЛЬНОМ И ПЕРЕСЖАТОМ РЕЖИМАХ

П. И. Зубков, В. Г. Свих

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

В детонационной волне в тротиле многими исследователями зарегистрирована электропроводность, значительно превосходящая электропроводность

в детонационных волнах других взрывчатых веществ. Со времен Хейса (1965) высокая электропроводность в детонационной волне в тротиле считается обусловленной большим содержанием свободного, химически не связанного из-за недостатка кислорода, углерода. С его же подачи считается, что механизм проводимости при детонации тротила «сеточный». Концентрация частиц конденсированного углерода, имеющих электропроводность графита, столь велика, что с «неизбежностью» приводит к образованию проводящей сетки. Высокая же электропроводность графита может обеспечить измеренную сеточную электропроводность продуктов детонации тротила. Модель подкупает своей простотой и наглядностью. Более того, с ее помощью удается объяснить необычное поведение электропроводности в детонационной волне смеси тротила с гексогеном.

Однако, убывающая электропроводность вглубь продуктов детонации и возрастание электропроводности в волне разгрузки противоречит модели Хейса.

Для выяснения роли углерода в электропроводности продуктов детонации тротила были поставлены эксперименты по ее исследованию в детонационных волнах в литом тротиле в нормальном, недосжатом и пересжатом режимах.

Измерения проводились контактной методикой. Измерительная ячейка диаметром 6 мм заполнялась полностью литым тротилом. Литой тротил такого диаметра не детонирует, его критический диаметр 26 мм. В нормальном режиме детонация в измерительной ячейке велась литым тротилом, в недосжатом — насыпным тэном со скоростью 5,3 км/с, в пересжатом — гексопластом со скоростью 7,6 км/с. Литой тротил детонирует со скоростью практически 7 км/с, литой ТГ 50/50 со скоростью 7,65 км/с. Таким образом, для тротила в измерительной ячейке реализовались условия близкие к условиям в детонационной волне в ТГ 50/50, когда выход ультрадисперсных алмазов практически максимальный.

Во всех режимах наблюдается конечная ширина проводящей области и двойное распределение электропроводности. Особенность, разделяющая двойное распределение, наиболее ярко выражена в пересжатом режиме. Вторая зона в пересжатом режиме имеет исчезающе малую электропроводность. При пересжатии электропроводность не растет в волне разгрузки. Ширина первой высокопроводящей зоны практически вдвое уже при пересжатии.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что сеточная проводимость, термоэмиссия электронов частицами конденсированного углерода, термоионизация неуглеродных молекул маловероятны в продуктах детонации тротила.

По нашим представлениям первая высокопроводящая зона соответствует зоне химической реакции и в высшей степени неравновесна, во второй зоне электропроводность определяется наличием свободного, химически несвязанного углерода и прекращается вместе с полной его конденсацией.

ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НИЗКОСКОРОСТНОЙ ДЕТОНАЦИИ В ПЛАСТИФИЦИРОВАННОМ ОКТОГЕНЕ

К. Ф. ГРЕБЕНКИН, М. В. ТАРАНИК,
С. К. ЦАРЕНКОВА, А. С. ШНИТКО

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

Целью данной работы является разработка физической модели низкоскоростной детонации (НСД) для высокоплотных пластифицированных взрывчатых составов на основе октогена. Основной предпосылкой предлагаемой модели является хорошо известный эффект наличия двух порогов ударноволнового инициирования химических реакций в высокоплотных ВВ. Первый (нижний) порог представляет собой порог зажигания ВВ ударной волной (порог возбуждения субдетонационных реакций), а второй — это порог возбуждения нормальной детонации (НД). В пластифицированном октогене первый порог регистрируется при воздействии слабых ударных волн с давлением на фронте порядка 0,1 ГПа. Второй порог локализован в области давлений около 3 ГПа, где наблюдается резкое повышение скорости химических реакций с ростом давления и происходит возбуждение НД.

Предполагается, что НСД в низкопористых ВВ соответствует общепринятой модели ЗНД и представляет собой головную ударную волну и следующую за ней зону химической реакции. Основная идея предлагаемой модели состоит в том, что из-за сильной боковой разгрузки давление на фронте головной ударной волны при НСД значительно снижается по сравнению с НД и попадает в интервал между упомянутыми выше нижним и верхним порогами ударного инициирования химических реакций. В результате, скорость реакций и, следовательно, энергия, выделяющаяся в зоне между фронтом головной ударной волны и звуковой поверхностью, оказывается, с одной стороны, намного меньше, чем при нормальной детонации, что приводит к пониженным значе-

ниям скорости детонации, а, с другой стороны, достаточной для того, чтобы поддерживать стационарное распространение волны НСД.

Предлагаемая модель была внедрена в двумерный гидрокод и верифицировалась путем моделирования экспериментов, в которых наблюдалась НСД в пластифицированном октогене с низкой пористостью (< 2%). В прямых двумерных расчетах был получен стационарный режим распространения НСД и удалось воспроизвести большинство экспериментальных эффектов. Расчеты также показали существование нижнего и верхнего предельных значений диаметра заряда, определяющих область, где возможна стационарная НСД. Для цилиндрического заряда ВВ без оболочки они оцениваются как 50 и 200 мм, соответственно.

PHYSICAL MODEL OF LOW VELOCITY DETONATION IN PLASTICIZED HMX

K. F. GREBENKIN, M. V. TARANIK,
S. K. TSARENKOVA, A. S. SHNITKO

Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

In a given report a physical model of low velocity detonation (LVD) for dense plasticized HMX is suggested. The model is based on the well-known fact that two thresholds were observed when shock wave initiation of chemical reactions in dense high explosives. The first (low) one is just threshold of the explosive ignition by the shock (subdetonation reactions initiation threshold). The second one is the threshold of normal detonation (ND) initiation.

In plasticized HMX the first threshold is observed at pressures about 0.1 GPa. The second one is located near 3 GPa where the sharp growth of the chemical reactions rate is observed with pressure increasing, and when the ND initiation takes place.

It's supposed that LVD in the explosives having small porosity corresponds to well-recognized ZND theory, and the LVD wave is a complex of the leading shock wave and the chemical reaction zone behind the shock front. The main idea of the suggested model is that due to the lateral unloading the pressure at the leading shock front is reduced as compared to the ND, and it lies between two abovementioned thresholds. As a result, the reaction rate and, hence, the energy released between the front and the sound surface is much lesser than at ND. That is why, the detonation propagation

velocity at LVD is lesser than at ND. But, from other side, the released energy may be enough to sustain the stationary regime of LVD propagation.

The model was implemented into 2-D hydrocode and verified by means of modeling of experiments where the LVD was observed in plasticized HMX having small porosity (< 2%). In 2-D calculations the stationary LVD wave was obtained, and the most of known experimental effects were reproduced. Also, the computer modeling has shown that there is some range of the charge diameters where stationary LVD may take place. For naked cylindrical charge of plasticized HMX it has been evaluated that the stationary LVD is possible when the charge diameter lies between 50 and 200 mm.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЛОТНЫХ ВВ

В. Ф. КУРОПАТЕНКО, М. Ю. САХАРОВ

Российский федеральный ядерный центр –
ВНИИ технической физики
им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

Сделана попытка построить максимально простое уравнение состояния для кристаллических ВВ, опираясь на распространенные физические принципы, достаточно традиционный вид представления и желание обойтись минимумом подгонных параметров.

Уравнение состояния строится в традиционном виде, типа Ми-Грюнайзена, с разделением на потенциальную и тепловую части. Для построения потенциальной части берется потенциал типа Леннарда-Джонса, параметры которого, с помощью известных соотношений, выражаются через комбинации физических величин, для которых есть экспериментальные значения. Для построения тепловой части берется зависимость, аппроксимирующая теплоемкость при постоянном давлении, причем вид этой зависимости выбирается, наряду с физичностью, из соображений возможности легкого получения функции тепловой энергии и, далее, тепловой части давления. Тепловая часть давления связана с тепловой частью энергии через функцию Грюнайзена, зависящий от плотности вещества. Предложен вид функции Грюнайзена, аппроксимирующий характер ее поведения и предельные значения. Исходя из предложенной функции Грюнайзена, получено выражение для функции температуры Дебая. В тепловую часть включен член, учитывающий вклад электронной

составляющей. Учтен вклад энергии нулевых колебаний. Сконструированное уравнение состояния имеет несколько подгоночных параметров, в дальнейшем называемых коэффициентами УРС. Численные значения коэффициентов УРС для каждого ВВ подбираются таким образом, чтобы расчетные значения как можно лучшим образом аппроксимировали известные экспериментальные значения, например, в представленном докладе, аппроксимировалась ударная адиабата и изобарическое температурное расширение.

Подобранные значения коэффициентов проверяются на других процессах (теплоемкость при постоянном давлении, изобарическая температурная зависимость скорости звука), для которых есть достоверные экспериментальные данные.

Представлены результаты подбора коэффициентов предложенного УРС для ТНТ.

DENSE HE EQUATION OF STATE

V. F. KUROPATENKO, M. YU. SAKHAROV

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

An attempt of establishing simple equation of state for crystalline HE was made. Establishing is based on on wide physical principles. Equation established in traditional form with small amount match parametres.

Equation is Mi-Gruneisen type with division on potential and thermal parts. Lennard-Johnse type potential is used for potential part establishing which parametres are expressed through physical variables of known experimental values. Functional approximation of heat capacity at constant volume is used for establishing thermal part of the equation. Pressure heat part is apparented with energy heat part trough Gruneisen-like function. Form of such function proposed. Upon it a function of Debay temperature derived. Heat part contains portion counts electron component. Zero oscillations counts as well.

The equations has a number of match parametres — so-called coefficients. Numerical values of the coefficients are ajusted to comply with experimental data (Hugoniot, isobaric temperature expansion etc.)

Equation coefficients for TNT are presented.

ДИНАМИКА МАЛО-УГЛОВОГО РЕНТГЕНОВСКОГО РАССЕЙЯНИЯ ПРИ ДЕТОНАЦИИ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ С ДОБАВКАМИ НАНОАЛМАЗОВ

К. А. ТЕН¹, В. М. ТИТОВ¹, Б. П. ТОЛОЧКО²,
И. Л. ЖОГИН, Э. Р. ПРУУЭЛ¹,
Л. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ¹

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии
СО РАН, Новосибирск, Россия

Хотя синтезу наноалмазов при взрыве посвящено весьма большое число работ вопрос об образовании их, а также более общий вопрос о конденсации углерода при детонации ВВ с отрицательным кислородным балансом, остается дискуссионным до настоящего времени. Ответ на него важен как для понимания физики явления, так и для оценки количества энергии, которая выделяется при экзотермической коагуляции углеродных кластеров.

Первые динамические экспериментальные исследования о росте взрывных наноалмазов стали возможными благодаря использованию синхротронного излучения, а именно возможности регистрации дифракционных (мало-угловых) сигналов с частотой до 4 МГц. Полученные результаты показали, что сигнал мало-углового рентгеновского рассеяния (МУРР) начинает расти с нуля на фронте детонации и его рост продолжается в течение нескольких микросекунд. Однако в этих экспериментах сигнал МУРР вначале может быть очень мал, ввиду малой «контрастности» наноалмаза на фронте. Длительный рост может объясняться ростом «контрастности» при разлете продуктов детонации. Для ответа о месте появления взрывных наноалмазов необходимо повысить чувствительность МУРР (чтобы фиксировать наноалмазы на фронте детонации) и увеличить временное разрешение.

В работе экспериментально исследовалось начало появления наноалмазов во время детонации состава ТГ 50/50 методом МУРР с использованием синхротронного излучения ускорителя ВЭПП-3. Рассмотрены возможности использования методики для регистрации наночастиц разного размера. Показано, что метод МУРР в наших экспериментальных условиях дает возможность фиксировать рассеянное излучение от частиц размером от единиц до нескольких десятков нанометров.

Применена новая экспериментальная постановка с введенными во взрывчатое вещество наноалмазами. Введение взрывных (полученных при детонации ВВ) наноалмазов в заряды тротила и гексогена

позволяет моделировать случай «мгновенного» появления наноалмазов при детонации ВВ.

Проведенные эксперименты показали, что методика измерения МУРР надежно фиксирует взрывные наноалмазы на фоне сжатого в детонационной волне вещества. При детонации ТГ 50/50 в зоне химической реакции отсутствуют наночастицы конденсированного углерода размером > 2 нм.

DYNAMICS OF SMALL-ANGLE X-RAY SCATTERING AT DETONATION OF CONDENSED EXPLOSIVES WITH ADDITIONS OF NANODIAMONDS

K. A. TEN¹, V. M. TITOV¹, B. P. TOLOCHKO²,
I. L. ZHOGIN², E. R. PRUUEL¹,
L. A. LUKIANCHIKOV¹.

¹Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

² Institute of Solid State Chemistry and
Mechanochemistry SB RAS,
Novosibirsk, Russia

In spite of a lot of works devoted to explosion synthesis of nanodiamonds, the problem of their formation as well as a more general problem of condensation of carbon at detonation of an oxygen-deficient explosive is still debatable. Its solution is important both for understanding the physics of the phenomenon and for estimating the energy liberated at exothermal coagulation of carbon clusters.

The first experimental studies of the growth of explosion nanodiamonds became possible due to the SR application, namely, the possibility of registration of (small-angle) diffraction signals following with frequency up to 4 MHz. Experimental results have shown that a small angle X-ray scattering signal starts growing from zero at the detonation front and keeps growing for several microseconds. An SAXS signal, however, may be very low in these experiments, because of the low «contrast» of diamond at the front. The long growth may be explained by the increase in «contrast» at scattering of detonation products. To determine the place where explosion nanodiamonds arise, it is necessary to raise SAXS sensitivity (in order to observe nanodiamonds at the detonation front) and increase time resolution.

The work was devoted to experimental SAXS study of the beginning of nanodiamond formation at detonation of the compound TH50/50, with the application of synchrotron radiation of the VEPP-3 accelerator. The possibility of application of the

methods in observation of nanoparticles of various sizes has been examined. It has been shown that, in our experimental conditions, the SAXS method allows observing scattered radiation from particles of nanometers to several tens of nanometers in size.

A new experimental set-up, with nanodiamonds introduced to the explosive, has been applied. The introduction of explosive nanodiamonds, i.e. those obtained at detonation of explosive, to charges of trotyl and hexogen makes it possible to simulate the case of «instant» arise of nanodiamonds at detonation of explosive.

The experiments carried out have shown that the SAXS measurement technique is reliable at registration of explosion nanodiamonds against the background of substance compressed in the detonation wave. At detonation of TH50/50, there is no condensed carbon nanoparticles bigger than 2 nm in the chemical reaction zone.

This work was made under financial support of RFBR grants: 05-03-32752-a, 06-03-32797-a, 07-02-01079-a.

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ПРОФИЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКИСЛИТЕЛЯ В ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЕ ТВЕРДЫХ ВВ МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОГО РАССЕЯНИЯ СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Б. П. ТОЛОЧКО, А. П. ЧЕРНЫШЕВ¹, К. А. ТЕН²,
Э. Р. ПРУУЭЛ², И. Л. ЖОГИН, П. И. ЗУБКОВ²,
Н. З. ЛЯХОВ, Л. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ²,
М. А. ШЕРОМОВ³

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

¹Новосибирский государственный
технический университет, Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики СО РАН
им. М. А. Лаврентьева, Новосибирск, Россия

³Институт ядерной физики СО РАН
им. Г. И. Будкера, Новосибирск, Россия

В ЦКП ИЯФ СО РАН им. Г. И. Будкера развиты уникальные экспериментальные методики, позволяющие в режиме реального времени изучать быстротекающие процессы в наносекундном диапазоне. Для исследований использовали синхротронное излучение (СИ) на ВЭПП-3. Разработан метод «in situ» определения содержания окислителей в детонационной волне и волне разрежения.

Экспериментальная методика основана на использовании наночастиц алмаза в качестве частиц-зондов. Наночастицы-зонды не изменяют характер протекающих в реакционной зоне физико-химических процессов. Это обусловлено тем, что, во-первых, добавляют небольшое количество наночастиц: до 8% по массе, во-вторых, характерный размер наночастиц, $\delta_n \approx 50 \div 100 \text{ \AA}$, много меньше характерного расстояния между горячими точками, $\delta_p \approx 10^3 \text{ \AA}$. Метод позволяет наблюдать за изменением количества и распределения по размерам частиц-зондов. Это дает возможность изучать кинетику химических реакций в реакционной зоне в масштабе реального времени.

Наночастицы алмаза вводились во взрывчатые вещества различного состава, как с отрицательным кислородным балансом, так и с практически нулевым. С использованием метода МУРР были получены зависимости от времени интегральной интенсивности малоуглового рассеяния на добавленных наноалмазах непосредственно в реакционной зоне. Таким образом, исследована кинетика превращений частиц-нанозондов в масштабе реального времени (с шагом 125 нс).

За фронтом детонационной волны в гекогене происходит окисление наноалмазов. Кинетика окисления хорошо описывается уравнением Рогинского-Шульц, что соответствует нулевому порядку скорости реакции окисления по концентрации окислителя. С уменьшением удельной поверхности наноалмазов скорость окисления падает. При увеличении размеров агломератов алмазных частиц до $0,5 - 50 \text{ \mu m}$ скорость окисления настолько мала, что за время взрыва не происходит заметного уменьшения массы алмазной фазы. Окисление начинается через $100 - 150 \text{ нс}$ после прохождения фронта детонационной волны. Поэтому вкладом интермедиатов в окисление можно пренебречь. Окислительная способность уменьшается в ряду: $\text{O}_2 \gg \text{CO}_2 > \text{H}_2\text{O}$. Время окисления на воздухе составляет доли микросекунды, а окисление в продуктах детонации гекогена завершается за несколько микросекунд.

DIRECT MEASUREMENT OF THE OXIDANT CONCENTRATION PROFILE IN A DETONATION WAVE OF SOLID EXPLOSIVES BY THE METHOD OF SMALL ANGLE SYNCHROTRON RADIATION SCATTERING

B. P. TOLOCHKO¹, A. P. CHERNYSHEV², K. A. TEN³,
E. R. PRUUEL³, I. L. ZHOGIN¹, P. I. ZUBKOV³,
N. Z. LYAKHOV¹, L. A. LUKYANCHIKOV³,
V. V. ZHULANOV⁴

¹Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

²Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

³Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS, Novosibirsk, Russia

⁴Новосибирск, Россия Budker Institute of Nuclear Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia

They at the multi-user center of BINP SB RAS have developed unique experimental methods for real-time study of fast processes in the nano-second range. Studies were carried out with the application of synchrotron radiation (SR) on VEPP-3. An in situ method to determine the content of oxidants in detonation and rarefaction waves has been developed. The experimental methods bases on using diamond nano-particles as probe particles. Probe nano-particles do not change the nature of physical-chemical processes running in the area of reaction. The reason is that, first, a small amount of nano-particles is added (up to 8% in mass); second, the typical size of nano-particles ($\delta_n \approx 50 \div 100 \text{ \AA}$) is much less than the typical distance between hot points ($\delta_p \approx 10^3 \text{ \AA}$). The method allows real-time study of the kinetics of chemical reactions in the zone of reaction.

Diamond nano-particles were introduced into explosives of different composition, both with a negative oxygen balance and with a practically zero

ДВИЖЕНИЕ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДЕТОНАЦИИ СОСТАВНОГО ЗАРЯДА PETN — TNT/RDX

К. А. ТЕН¹, В. М. ТИТОВ¹, Б. П. ТОЛОЧКО²,
И. Л. ЖОГИН², Э. Р. ПРУУЭЛ¹,
Л. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ¹, В. Н. КАРАХАНОВА¹

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН, Новосибирск, Россия

²Институт химии твердого тела и механохимии
СО РАН, Новосибирск, Россия

При использовании синхротронного излучения (СИ) для исследования детонационных процессов зона регистрации параметров (пятно СИ на заряде) находится неподвижно. Используя постоянство скорости детонации вдоль оси, а также стабильное время между кадрами, в ряде постановок возможно получать распределение параметров за фронтом детонации. (В системе отсчета, связанной с фронтом детонации, пятно СИ равномерно движется от фронта.)

Особый интерес представляет исследование составных зарядов конденсированных взрывчатых веществ (КВВ): один из которых имеет выход наноалмазов, а другой — нет. Измерение малого углового рентгеновского рассеяния (МУРР) по обе стороны от движущейся контактной границы дает информацию динамике конденсации наночастиц. Используемые в экспериментах КВВ PENT и TNT/RDX 50/50 имеют близкие параметры в плоскости Чепмена-Жуге, однако равномерность и плоскостность движения контактной границы между ними требует экспериментального подтверждения.

В работе представлены экспериментальные исследования движения контактной границы между прессованными зарядами PENT и TNT/RDX 50/50. Диаметр зарядов составлял 15 мм, длина 60 и 20 мм. Детектором фиксировалась «тень» от фольги размером 2 × 2 мм и толщиной 50 мкм. Путем подбора плотностей зарядов удалось получить равномерное движение контактной границы.

На полученных зарядах ВВ были измерена динамика МУРР в момент перехода из одного заряда в другой.

MOVEMENT OF CONTACT SURFACE AT DETONATION OF A COMPOUND CHARGE OF PETN — TNT/RDX.

K. A. TEN¹, V. M. TITOV¹, B. P. TOLOCHKO²,
I. L. ZHOGIN², E. R. PRUEEL¹,
L. A. LUKIANCHIKOV¹, V. N. KARAKHANOVA¹

¹Lavrentiev Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

²Institute of Solid State Chemistry
and Mechanochemistry SB RAS, Novosibirsk, Russia

When detonation processes are studied with the application of synchrotron radiation (SR), the zone where parameters are being registered (the SR spot on the charge) is motionless, because exposure time is very small — 1 ns. Using the constancy of axial velocity of detonation and stability of time interval between frames, one can obtain distribution of parameters beyond the detonation front in some experiments (in a detonation front reference system, the SR spot is moving uniformly from the front).

Studying compound charges of condensed explosives (CE), one of the explosives leading to formation of nanodiamonds and the other not leading, is of particular interest. Measurement of SAXS on either side of the moving contact boundary allows obtaining information on the dynamics of condensation of nanoparticles. PENT and TNT/RDX 50/50, condensed explosives that are used in experiments, have close parameters in the Chapman-Jouget plane. Nevertheless, the uniformity and flatness of movement of contact boundary between them need being confirmed experimentally.

This work presents experimental studies of the movement of contact boundary between compacted charges of PENT and TNT/RDX 50/50. The diameter of charges was 15 mm and their length was 60 and 20 mm. A detector was registering a «shadow» from 2 × 2 mm foil 50 μm thick situated between charges. By selecting density of charges, we managed to make the movement of contact boundary uniform.

We have measured SAXS dynamics on the boundary of charges at the moment of the detonation. This work was made under financial support of RFBR grants: 05-03-32752-a, 06-03-32797-a, 07-02-01079-a.

О ВЛИЯНИИ КРИВИЗНЫ ФРОНТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАЗЛЕТАЮЩИХСЯ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ТРОТИЛА И ТГ 50/50

Л. А. МЕРЖИЕВСКИЙ, Э. Р. ПРУУЭЛ,
Л. А. ЛУКЬЯНЧИКОВ, К. А. ТЕН

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

В работе приводится описание методики и результаты применения скоростной рентгеновской томографии для восстановления распределения плотности продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ по данным измерений, проводимых с помощью синхротронного излучения. При исследовании процесса разлета продуктов измерялась, в том числе, кривизна фронта детонации. Полученные для цилиндрического зарядов диаметром 12,5 мм из прессованного тротила и сплава ТГ 50/50 данные сравниваются с результатами решения соответствующей газодинамической задачи о стационарной детонации. Установлено качественное согласие экспериментальных и расчетных результатов. Показано, что для количественного согласования экспериментальных и расчетных данных в расчетной модели необходим учет реальной кривизны фронта детонационной волны.

О ФОРМЕ КИНЕТИКИ РЕАКЦИИ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИИ

А. П. ЕРШОВ, Д. А. МЕДВЕДЕВ

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

Для описания детонационных процессов во взрывчатых веществах используется макрокинетический подход. Задав функциональный вид кинетического уравнения, подбирают его параметры, сравнивая расчет с экспериментом. Обычно скорость реакции ищется как функция текущих параметров среды (давления, плотности, степени превращения...), причем непосредственно после прохождения ударного фронта степень превращения равна нулю.

Известен ряд экспериментов, в которых при высокой плотности взрывчатых веществ не удалось зарегистрировать химик, что может указывать на качественное изменение кинетики. Существуют

расчетные демонстрации ускорения реакции в окрестности фронта ударной волны из-за неравновесности (А. Н. Дремин, В. Ю. Клименко). В. С. Трофимовым предложено обобщение кинетики: в кинетическое уравнение явно вводится скорость деформации. Такой член будет существенным в областях с большими градиентами. Однако в специальных экспериментах вклад производной не обнаружился. По нашему мнению, неуспех мог быть связан с неудачным выбором формы кинетики (квадратичной по $\partial V / \partial t$).

В работе показано, что в указанных экспериментах дифференциальное слагаемое кинетики, если оно вообще было важным, могло быть только линейным:

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = f(P, V, \lambda) - A \frac{\partial V}{\partial t} \quad (1)$$

Здесь t – время, λ – переменная состава, V – удельный объем вещества, P – давление, $A > 0$ – коэффициент, который может зависеть от P , V , λ ; знак его соответствует ускорению реакции при сжатии (в частности, конечному превращению при прохождении ударного фронта). Обсуждаются механизмы реакции, способные породить макрокинетику типа (1).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 05-03-32412).

ON THE FORM OF REACTION KINETICS IN DETONATION FRONT

A. P. ERSHOV, D. A. MEDVEDEV

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics,
Novosibirsk, Russia

The macro-kinetic approach is commonly used to describe detonation processes in explosives. For a given form of the kinetic equation, its parameters are fitted comparing calculation and experimental results. Usually, the reaction speed is expressed as a function of current flow parameters (pressure, density, degree of conversion, etc.), so the degree of conversion is zero immediately after the shock front.

In a number of experiments, the chemical peak was not observed at high explosive densities, which can indicate qualitatively different kinetics. The acceleration of reaction near the shock front caused by strong non-equilibrium was demonstrated in calculations of A. N. Dremin, V. Yu. Klimenko. V. S. Trofimov proposed a generalized kinetics, introducing explicitly the rate of deformation into

the kinetic equation. Such term will be significant in regions of large gradients. The contribution of derivative was however not found in special experiments. In our opinion, this might be due to improper choice of the form of kinetics (quadratic on $\partial V / \partial t$).

We show that the differential term in kinetics in aforementioned experiments, if important at all, could be only linear on the rate of deformation

$$\frac{\partial \lambda}{\partial t} = f(P, V, \lambda) - A \frac{\partial V}{\partial t} \quad (1)$$

Here, t is the time, λ is the composition variable, V is the specific volume, P is the pressure, and $A > 0$ is a coefficient which can depend on P , V , λ . The sign of A corresponds to the acceleration of reaction at compression (particularly, finite degree of conversion behind the shock front). Reaction mechanisms that might lead to the macrokinetics (1) are discussed.

The work was supported by the Russian Foundation of Basic Researches (grant No. 05-03-32412).

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В СПЛОШНОЙ СРЕДЕ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ВВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ УДАРОМ

С. Л. НЕВЕРОВ

Криворожский экономический институт,
Кривой Рог, Украина

В предыдущих работах, на основании результатов численного моделирования было показано, что при инициировании заряда ВВ высокоскоростным ударом ударник ведет себя как «динамический поршень», «поджимая» продукты детонации. Это приводит к существенному изменению профиля детонационной волны (появляются зоны постоянного течения и дополнительные волны сжатия) и увеличению ее импульса.

В настоящей работе, также на основании численного моделирования, исследуются закономерности параметров ударной волны в сплошной среде, которая генерируется детонацией заряда ВВ, инициированной высокоскоростным ударом. Профили УВ практически не отличаются от ранее рассчитанных профилей ДВ. В зависимости от соотношения толщин ВВ и ударника в среде может генерироваться дополнительная ударная волна в результате отражений ДВ от нагружаемой среды и от ударника.

Получено, что интегральный импульс в ударной волне по-прежнему увеличивается пропорционально массе ВВ и толщине инициирующего ударника. Однако влияние толщины ударника оказалась в 2–3 раза слабее, чем на импульс в ДВ. Кроме того, прирост импульса в УВ становится очень немонотонным.

Дополнительные расчеты при детонации заряда с ударником нулевой скорости показали, что в этом случае импульс УВ имеет один локальный максимум при соотношении толщины ВВ и ударника 4:1, после которого растет линейно с толщиной ВВ. Такое поведение объясняется тем, ударная волна в ударнике отражается от его верхней поверхности в виде волны разгрузки и резко разгружает ПД. Таким образом, дополнительная волна сжатия может увеличить интенсивность нагружения лишь на короткое время, а затем значительно снижает «поджимающее» действие ударника.

Проанализировано также влияние скорости ударника. Показано, почему скорость ударника влияет на прирост импульса значительно слабее, чем его толщина. Немонотонность прироста импульса при инициировании высокоскоростным ударом объясняется теми же ударно-волновыми процессами в ударнике, но с увеличением его скорости число локальных максимумов импульса может быть больше.

FEATURES OF THE SHOCK WAVE PARAMETERS IN CONTINUOUS AT INITIATION OF EXPLOSIVE BY HIGH VELOCITY IMPACT

S. L. NEVEROV

Krivi Rig, Ukraine

In previous reports on the basis of results of numerical modeling it was demonstrated, that the liner at initiation of explosive by its high velocity impact behaves as «dynamic piston»: it compresses the products of detonation. This fact causes substantial change of profile of detonation wave (the areas of constant flow and additional waves of compression appears) and increasing of its integral impulse. The increasing of thickness of liner increases the impulse of detonation wave 5–6 times greater than thickness of the explosive.

In this work, on the basis of numerical modeling as well, the law of the shock wave parameters modifications in a continuous, when the shock wave is generated by the detonation of the explosive, initiated by a high velocity impact, is explored.

Profiles of the shock wave practically do not differ from the profiles of the detonation wave, computed in previous works. But depending on the thickness ratio of the explosive and the liner, an additional shock wave can be generated in a continuous as a result of reflections of the detonation wave from the loaded continuous and from the liner.

It's calculated that the mass of the explosive and thickness of the liner increases an integral impulse in a shock wave (proportionally) in the same manner as in the detonation wave. However, it's found, that the influence of liner's thickness is 2–3 times weaker than its influence on an impulse increase in the detonation wave. In addition, the impulse increase in the shock wave very non monotone versus the thickness.

Additional calculations for detonation of explosive in case, when velocity of a liner equals zero, helped to account for these features. In this case the impulse of the shock wave has one local maximum at the thicknesses ratio of the explosive and the liner as 4:1, after which it arcwise grows only with the thickness of the explosive. Such behaviour is explained by the fact, that a shock wave in a liner reflects from his topside as the rarefaction wave and strongly unloads the products of detonation. Thus, the additional wave of compression can increase the intensity of loudening of continuous only for a while, and then — strongly weakens the compressing action of the liner.

It's analyzed also why the velocity of the liner has a considerably weaker influence on the increasing of impulse, than its thickness. The non monotone increasing of impulse at initiation by a high velocity impact is explained by the same processes in the liner, but a few local maximums can be generated with increase of the liner velocity.

МЕДЛЕННОЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЕ В ПРОДУКТАХ ВЗРЫВА СОСТАВОВ НА ОСНОВЕ ОКТОГЕНА: РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ

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

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

В открытых публикациях было предложено несколько расчетных моделей медленного энерговыделения, связанного с процессом роста углеродных

кластеров, для взрывчатого состава (ВС) на основе ТАТБ, характеризующимся высоким содержанием углерода в ПВ. Однако давно известно, что эффекты медленного энерговыделения могут проявляться и в ВВ с умеренным содержанием конденсированного углерода в ПВ, в частности в ВС на основе октогена. Расчетных моделей медленной кинетики, предназначенных для использования в гидрокодах, для таких ВС не было.

В данном докладе предлагаются новое уравнение состояния ПВ высокоплотного октогена и ВС его на основе (РВХ 9404, РВХ 9501), а также модель медленного энерговыделения в ПВ.

УРС ПВ был получен на основе равновесного химсостава с учетом сепарации газовых компонентов.

Энерговыделение моделировалось как двухстадийный процесс. Около 90% химической энергии выделяется в быстрой фазе в зоне смеси (ВВ+ПВ). В квазистационарном режиме эта зона составляет около 10 нс или ~0,1 мм. Оставшиеся 10% максимально возможной теплоты детонации выделяется непосредственно в ПВ — к внутренней энергии ПВ добавляется слагаемое, степенным образом зависящее от времени. Характерное медленное время процесса — около 20 нс, однако из-за слабой степенной зависимости процесс растянут на микросекундные времена.

В работе моделируются опыты зарядами \varnothing 203 мм РВХ 9404 (94% октогена) различной длины, проведенные американскими исследователями в 70–80-х годах прошлого века. В опытах по измерению начальной скорости полета дюралевых пластин W толщиной h , контактирующих с РВХ 9404 различной длины, был обнаружен ощутимый масштабный эффект — экспериментальные кривые $W(h)$ для зарядов разной длины $L = 12,5 \div 203$ мм разделялись на малых h , что интерпретировалось как рост эффективного давления Жуге.

В опытах другого типа измерялась массовая скорость $U(t)$ на границе детонирующего ВС РВХ 9404 и тефлона электромагнитным методом. Длины зарядов L варьировались в диапазоне 25,4–203,2 мм. Значительное разделение кривых $U(t)$ для различных L на малых временах вновь подтвердило заметную неидеальность исследуемого ВС.

Таким образом, фактически уже 25–30 лет назад было показано, что воспроизвести экспериментальные кривые даже в пределах достаточно большой погрешности (~2% по оценкам авторов) в рамках теории ЗНД, невозможно.

Предложенные уравнение состояния для ВС РВХ 9404 совместно с кинетической моделью медленного энерговыделения в ПВ позволили воспроизвести эти эксперименты. Сделан вывод о том, что эффекты медленной кинетики необходимо учитывать при моделировании детонации в ВС на основе октогена.

ИЗУЧЕНИЕ СТРОЕНИЯ 1-НИТРО-2-АМИНОБЕНЗФУРАЗАНФУРОКСАНА

Н. С. Хайруллина¹, Д. И. Хамидуллин¹,
В. Я. Базотов¹, А. Т. Губайдуллин²

¹Казанский государственный
технологический университет, Казань, Россия

²Институт органической и физической химии
им. А. Е. Арбузова, КазНЦ РАН, Казань, Россия

Соединения фуразано-фуроксанового ряда представляют научный и практический интерес с точки зрения использования их в качестве компонентов энергонасыщенных материалов, поскольку имеют высокие значения по плотности, скорости детонации и термической стабильности.

Для установления взаимосвязи между структурой веществ и их поведением в различных процессах на молекулярном уровне необходимо знание строения исследуемых соединений, и одним из объективных методов идентификации строения новых веществ является рентгеноструктурный анализ.

Рентгеноструктурный анализ монокристалла 1-нитро-2-аминобензфуразанфуроксана был проведен на автоматическом рентгеновском дифрактометре CAD-4 фирмы «NONIUS B.V.» методом вращения. Монокристалльные образцы выращены из раствора в нитрометане методом снижения температур.

Структуры расшифрованы прямым методом по программе SIR и уточнены вначале в изотропном, затем в анизотропном приближении с использованием программ SHELXL-97, WinGX. Все предварительные расчеты проведены по программам комплекса MolEN, анализ межмолекулярных взаимодействий и рисунки молекул выполнены по программе PLATON. Получены геометрия молекул и упаковка молекул в кристаллах.

STUDYING OF THE STRUCTURE OF 1-NITRO-2- AMINOBENZFUZZANFUROKSAN

N. S. KHAIRULLINA¹, D. I. KHAMIDULLIN¹,
V. J. BAZOTOV¹, A. T. GUBAIDULLIN²

¹The Kazan State Technological University,
Kazan, Russia

²A. E. Arbutov Institute of Organic and Physical
Chemistry, Kazan Research Center
of the Russian Academy of Sciences,
Kazan, Russian Federation

Connections furazan-furoksan series represent scientific and practical interest from the point of view of their use as components explosive mate-

rials as have high values on density, to speed of a detonation and thermal stability.

For an establishment of interrelation between structure of substances and their behaviour in various processes at a molecular level the knowledge of a structure of researched connections is necessary, and one of objective methods of identification of a structure of new substances is the X-ray analysis.

The X-ray analysis of a monocrystal 1-nitro-2-aminobenzfuranfuroksan has been executed on automatic X-ray diffractometer CAD-4 of «NONIUS B.V.» firm by a method of rotation. A monocrystal samples for carrying out the X-ray structural analysis have been prepared from the solutions in nitromethane by the lowering temperature method.

The structure is defined by a direct method by means of the program SIR. At first it was defined more exactly at isotropic and then in anisotropic approximation with SHELXL-97, WinGX programs. All precomputations are executed by means of MolEN, the analysis of the intermolecular interaction and the figures of the molecules are executed under the program PLATON. The geometry of molecules and packing of molecules in crystals are received.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ТЕТРАНITРОПЕНТАЭРИТРИТА ОПТИЧЕСКИМ И АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРИ ИНИЦИИРОВАНИИ ИМПУЛЬСНЫМИ ПУЧКАМИ ЭЛЕКТРОНОВ

Б. П. Адиев, Г. М. Белокуров, С. С. Гречин

Кемеровский филиал Института химии твердого тела
и механохимии СО РАН,
Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по исследованию свечения в спектральном интервале 350–1000 нм и динамике акустических волн, возникающих при взрыве кристаллов тетранитропентаэритрита (ТЭНа).

Иницирование взрыва осуществлялось электронным пучком с плотностью энергии 15 Дж/см², эффективной энергии электронов 0,25 МэВ и длительностью импульса 30 нс. Спектрально-кинетиические характеристики свечения при возбуждении единичного образца регистрировались на установке, подробно описанной в работе (В. Н. Швайко,

Кречетов А. Г., Адуев Б. П. и др. // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75. – Вып. 6. – С. 59–62). Измерение динамики акустических волн производилось с помощью пьезодетектора.

В кинетике свечения наблюдается интенсивная радиолуминесценция во время импульса возбуждения. Через 200–500 нс для различных образцов интенсивность свечения нарастает вновь и спадает через 1,5–2 мкс. Спектр радиолуминесценции содержит три компонента с максимумами при 3,1, 2,4 и 1,5 эВ. Спектр свечения на последующем этапе содержит одну полосу свечения с максимумом при 1,5 эВ.

Измерение динамики акустических волн показало, что во время импульса возбуждения возникает ударная волна с амплитудой ~1 ГПа.

Через 200–500 нс после импульса возбуждения наблюдается рост давления, связанный с развитием экзотермической химической реакции. Через 1,5–2 мкс наблюдается спад давления, связанный с разлетом продуктов взрыва. Сопоставление оптических и акустических экспериментов позволяет сделать вывод, что полоса свечения с максимумом 1,5 эВ является индикатором развития экзотермической химической реакции, приводящей к взрыву.

Анализ экспериментальных и литературных данных позволил связать полосу 3,1 эВ со свечением экситона, а полосу 2,4 эВ с радикалом NO_2^* . Полоса свечения 1,5 эВ предположительно связана со свечением радикала $(\text{NO}_3^*)^-$.

В докладе обсуждаются особенности механизма взрывного разложения кристаллов ТЭНа при электронно-пучковом воздействии с использованием результатов квантово-химических расчетов.

Работа выполнена при поддержке регионального гранта РФФИ #07-02-96009.

INVESTIGATION OF INITIATION STAGES OF PENTAERYTHRITOL TETRANITRATE CRYSTALS EXPLOSIVE DECOMPOSITION INITIATED BY PULSE ELECTRONIC BEAM

B. P. ADUEV, G. M. BELOKUROV, S. S. GRECHIN

Kemerovo branch of Institute of solid chemistry and mechanochemistry SB RAS,
Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Glow characteristics in the range from 350 to 1000 nm and acoustic waves dynamic appearing at Pentaerythritol Tetranitrate crystals (PETN) explosion are resulted in the present work.

Explosive initiation was realized by electron beam with energy-flux density 15 J/cm², effective

electrons energy 0.25 MeV and pulse duration 30 ns. The complex described in detail in (Shvayko V. N., Krechetov A. G., Aduев B. P., Gudilin A. V., and Serov S. A. // Technical Physics, 2005, Volume 50, Issue 6, pp. 732–735) was used for registration of spectrum-kinetics glow characteristics of an excited single sample. Acoustic waves dynamic measuring was realized by piezodetector.

Intensive radioluminescence is observed at the moment of excitation pulse in the glow kinetics. For different samples glow intensity increases again in 200–500 ns and then it decreases in 1.5–2 μs. At the next stage there is a glow band with maximum at 1.5 eV in glow spectrum.

At the moment of excitation pulse compression shock with amplitude ~1 GPa was detected by acoustic wave dynamic measuring.

In 200–500 ns after excitation pulse pressure increasing is observed, it is connected with exothermic chemical reaction development. In 1.5–2 μs there is pressure decreasing which is connected with explosive products scattering. Comparison of optics and acoustics results allows to conclude glow band with a maximum 1.5 eV is a marker of exothermic chemical reaction development which is resulted in an explosive.

Literature and experimental results analysis allows to connect the band 3.1 eV with exciton glow and the band 2.4 eV with radical NO_2^* . Hypothetically the band 1.5 eV is connected with radical $(\text{NO}_3^*)^-$ glow.

Characteristics of PETN crystals explosion decomposition mechanism at electron-beam action in comparison with quantum-chemical calculated results are discussed in the report.

The investigation is realized under support of RFFI grant #07-02-96009.

КОЛЕБАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛНАХ В ПОРОШКОВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

П. И. ЗУБКОВ, А. М. КАРТАШОВ, В. Г. СВИХ

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

При исследовании распределения электрического потенциала в детонационных волнах в насыпных взрывчатых веществах были обнаружены флуктуации поляризации. Флуктуации следовали сразу за скачком напряжения на осциллограмме процесса. Были высказаны предположения, что

флуктуации определяются гетерогенностью детонирующего заряда.

Однако, при исследовании пространственной взаимосвязи волны поляризации с волной проводимости при более высоком временном разрешении оказалось, что флуктуации носят почти регулярный характер. Колебания возникают в инициирующей ударной волне и медленно затухая продолжают в волне проводимости. Период колебаний 10–15 нс, длительность 150–200 нс.

Объяснить колебания поляризации колебаниями полярных связей не удается. Для выяснения физической природы колебаний поляризации необходимы дополнительные исследования.

Когерентные колебания обнаружены при молекулярно-динамическом моделировании распространения ударных волн в кристаллах NaCl.

МОДЕЛЬ ОЧАГОВОГО ЗАЖИГАНИЯ ВЕЩЕСТВА ИМПУЛЬСНЫМ ПОТОКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Р. С. БУРКИНА¹, В. В. МЕДВЕДЕВ²,
Е. А. МИКОВА¹, В. П. ЦИПИЛЕВ²

¹Томский государственный университет,
Томск, Россия

²Томский политехнический университет,
Томск, Россия

В данной работе проводится приближенное теоретическое и численное исследование задачи зажигания реакционноспособного вещества потоком излучения при его поглощении оптическими неоднородностями, находящимися в реакционноспособном веществе (РВ), изучаются закономерности прохождения такого процесса, параметры и пределы зажигания. Рассматривается модель неограниченного реакционноспособного вещества, внутри которого находятся инертные частицы. На прозрачное РВ действует импульс высокоинтенсивного излучения, которое поглощается находящимися в РВ инертными частицами. В результате энергия излучения локализуется в объеме и окрестности частиц, что приводит к созданию тепловых очагов, способных привести к зажиганию РВ. Выполненное исследование показало, что качественный характер прохождения процесса зажигания существенно зависит от длительности внешнего импульса. При коротких импульсах время зажигания больше времени теплового импульса, и само воспламенение проходит в режиме теплового взрыва, а время зажигания определяет индукционный период. При длинных импульсах

излучения зажигание происходит до окончания импульса, критерием зажигания является достижение инертной частицей определенной температуры, величина которой зависит от тепло-кинетических параметров системы и размера частицы. На пределе зажигания более быстро зажигаются мелкие частицы, но это быстрое зажигание обеспечивает более мощный импульс. В тоже время запасенная в частице энергия внешнего импульса тем меньше, чем меньше радиус частицы. Это связано с тем, что при меньших размерах частицы требуется меньше энергии для повышения ее температуры и температуры прилегающего к ней РВ. Установлено, что при коротком импульсе излучения предел зажигания определяет энергия импульса, а при длительном импульсе предел зажигания определяет мощность излучения. Время и предел зажигания зависит как от длительности импульса, так и от размера инертной поглощающей частицы.

Результаты расчета сравниваются с экспериментом, проведенным в диапазоне длительностей лазерного воздействия $2 \cdot 10^{-8}$ – $4 \cdot 10^{-3}$ с. Обсуждается возможность описания эксперимента с позиций расчетной модели.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (коды проектов 06-03-32336-а, 06-03-32724-а).

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ МОЛЕКУЛ ТЭНА НА НАЧАЛЬНУЮ СТАДИЮ ЕГО РАЗЛОЖЕНИЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Б. П. АДУЕВ¹, В. К. ГОЛУБЕВ²

¹Кемеровский филиал ИХТТМ СО РАН,
Кемерово, Россия

²Российский федеральный ядерный центр –
ВНИИ экспериментальной физики, Саров, Россия

Представлены результаты квантово-химических расчетов молекул ТЭНа в условиях их электронного возбуждения и ионизации. Расчеты проводились для выяснения возможных механизмов начальной стадии разложения ТЭНа при облучении электронным пучком. Для этого определялись энергии диссоциации связей O-NO₂ и C-ONO₂ для молекул в основном и в нескольких возбужденных состояниях и для отрицательного и положительного молекулярных ионов. Образующиеся при разрыве связей радикалы NO₂ и NO₃ также

рассматривались в нейтральном основном и возбужденном состояниях и в виде отрицательного и положительного ионов. Расчеты выполнялись с использованием специализированной квантово-химической программы Gaussian 98. Для расчетов стационарных состояний по методу теории функционала плотности использовался комбинированный функционал B3LYP. Возбужденные состояния рассматривались с использованием метода конфигурационного взаимодействия. Все предварительные расчеты выполнялись с использованием базисного набора электронных функций 3-21G, а для выборочных окончательных расчетов использовался более точный базисный набор 6-31+G(d).

Полученные расчетные результаты сопоставлялись с экспериментальными результатами по инициированию кристаллов ТЭНа при облучении электронным пучком. В условиях воздействия подобного ионизирующего облучения энергетические затраты практически полностью расходуются на создание электронов и дырок, которые могут рекомбинировать через экситонные состояния или захватываться в окрестности структурных дефектов, создавая аналоги положительного или отрицательного ионов. При облучении стационарной радиацией в спектрах оптического поглощения обнаружены нитрат-ионы, а с использованием метода электронного парамагнитного резонанса — радикалы NO_2 . При облучении импульсным электронным пучком с использованием метода импульсной люминесцентной спектроскопии обнаружено свечение экситонов и возбужденных радикалов NO_2 . При плотностях возбуждения выше порога взрывного разложения, когда образец под воздействием электронного пучка находится в условиях высокой температуры и давления обнаружена полоса свечения, которая может быть связана с радикалом NO_2 . Образование радикала может происходить в этих условиях в результате локализации дырки на молекуле ТЭНа с последующей диссоциацией связи O- NO_2 .

INFLUENCE OF ELECTRONIC EXCITATION AND IONIZATION OF PETN MOLECULES ON INITIAL STAGE OF ITS DECOMPOSITION AT ELECTRON BEAM IRRADIATION

B. P. ADUEV¹, V. K. GOLUBEV²

¹Kemerovo branch of ISSCM SB RAS,
Kemerovo, Russia

²Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Scientific
Research Institute of Experimental Physics,
Sarov, Russia

The results of quantum-chemical calculations of PETN molecules in the conditions of their electronic excitation and ionization are presented. The calculations were carried out for ascertaining possible mechanisms of the initial stage of PETN decomposition under irradiation by an electronic beam. The dissociation energies of the O- NO_2 and C- ONO_2 bonds were determined for the molecules in the ground and several excited states and for the negative and positive molecular ions. The NO_2 and NO_3 radicals formed at the bonds rupture were also considered in the neutral ground and excited states and as the negative and positive ions. The calculations were performed with the use of the specialized quantum-chemical Gaussian 98 program. The combined B3LYP functional was used for the calculations of stationary states with the density functional theory method. The excited states were examined using the configuration interaction method. All the preliminary calculations were carried out with the use of the 3-21G basis set of electronic functions. The more precise 6-31+G (d) basis set was used for the selective final calculations.

The obtained calculated results were compared with the experimental results on the initiation of PETN crystals under irradiation by an electronic beam. Under conditions of such ionizing irradiation the energy consumption are practically in full spent on the creation of electrons and holes. These electrons and holes can recombine through exciton states or be captured in the vicinity of structural defects creating the analogues of positive or negative ions. At the irradiation with stationary radiation the nitrates-ions were found in the spectra of optical absorption and the NO_2 radicals were fixed with the use of the method of electronic paramagnetic resonance. At the irradiation with a pulse electronic beam the luminescence of excitons and of excited NO_2 radicals was found with the use of the method of pulse luminescent spectroscopy. The luminescence band was found at the excitation densities above the threshold of explosive decomposition when the sample is located in the conditions of high temperature and pressure under the action of an electronic beam. This band can be related with the NO_2 radical. In such conditions the formation of the radical can take place as a result of the localization of a hole on the PETN molecule with the following dissociation of the O- NO_2 bond.

ЭВОЛЮЦИЯ ПЛОТНОСТИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В ПОРИСТОМ ВВ

Э. Р. Прууэл¹, А. О. Кашкаров²,
Л. А. Лукьянчиков¹, Л. А. Мержиевский¹

¹Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
СО РАН, Новосибирск, Россия

²Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Россия

В докладе приводятся экспериментальные данные по определению динамики плотности при переходе горения в детонацию в насыпных зарядах вторичных взрывчатых веществ (тэна, гексоген). Методика восстановления пространственного распределения плотности основана на просвечивании исследуемого заряда синхротронным рентгеновским излучением.

Исследуемый заряд состоял из трубки заполненной порошковым ВВ насыпной плотности. Полихроматический луч синхротронного излучения в форме ножа шириной 15 мм и толщиной 0,2 мм просвечивал исследуемый цилиндрический заряд. Ослабленное излучение детектировалось линейкой чувствительных элементов газового микрострипового детектора.

Предположение о цилиндрической симметрии течения позволило поставить задачу томографии и определить распределение плотности вдоль радиуса заряда. Использование специальной методики сглаживания позволило увеличить пространственное разрешение метода и определить кривизну фронта в переходном процессе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 23 и Молодежного проекта СО РАН № 18.

МАРКИРОВКА ПЛАСТИЧНЫХ И ЭЛАСТИЧНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ – НАДЕЖНЫЙ ЗАСЛОН ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ИХ В ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

Е. В. Колганов, В. П. Ильин, И. З. Ахметов,
В. В. Судаков, С. П. Смирнов, В. Г. Кожевников,
Л. Р. Котов, С. П. Валешный,
Н. П. Тихомирова

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

В связи с участвовавшими в последние годы случаями проведения террористических актов с использованием взрывчатых веществ (ВВ) международно-правовая и финансово-экономическая ситуации в области их производства и реализации обусловили актуальность и необходимость принятия эффективных мер по противодействию хищениям и противоправному использованию ВВ различных типов.

С этой целью международной организацией гражданской авиации (ИКАО) по поручению Совета Безопасности ООН была разработана международная «Конвенция по маркировке пластических ВВ в целях их обнаружения», которая вступила в силу 21 июня 1998 года.

Для выполнения технических требований «Конвенции ...» ФГУП «ГосНИИ “Кристалл”» разработаны технологические процессы маркирования пластичных и эластичных взрывчатых составов (ПВВ и ЭВВ) выпускающейся в настоящее время в Российской Федерации номенклатуры. Разработана необходимая для их изготовления нормативно-техническая документация. С целью допуска маркированных составов ПВВ и ЭВВ к применению по прямому назначению проведена разработка и корректировка технических условий на маркированные составы.

В качестве маркирующих добавок из списка, рекомендованного ИКАО, использованы п-мононитротолуол (п-МНТ) и 2,3-диметил-2,3-динитробутан (ДМНБ), а также проведены все необходимые исследования их физико-химических свойств, совместимости с компонентами маркируемых составов, сохранности в процессах хранения и переработки составов и их влияния на взрывчатые и эксплуатационные свойства маркируемых композиций.

В связи с отсутствием в настоящее время в России производства выбранных маркирующих соединений разработаны технологии их получения и организован промышленный выпуск на опытно-промышленной базе ФГУП «ГосНИИ “Кристалл”».

Для обеспечения нормативно-правового контроля за соблюдением требований Конвенции разработан проект нормативного документа (национального стандарта) ГОСТ Р «Вещества взрывчатые. Маркировка пластичных и эластичных взрывчатых веществ с целью их обнаружения. Общие требования», регламентирующего порядок и правила маркирования ПВВ и ЭВВ в Российской Федерации. Окончательная редакция стандарта в настоящее время находится в Ростехрегулировании на утверждении.

PLASTIC AND ELASTIC EXPLOSIVES MARKING IS A RELIABLE MEANS AGAINST THEIR USE WITH TERRORIST AIMS

E. V. KOLGANOV, V. P. IL'IN, I. Z. AKHMETOV,
V. V. SUDAKOV, S. P. SMIRNOV, V. G. KOZHEVNIKOV,
L. R. KOTOV, S. I. VALESHNIY, N. P. TIKHOMIROVA

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

In connection with the fact that terrorist acts, in which explosives are used, occur more frequent, international-legal and financial-economic situations in the field of the explosives production and realization caused topicality and necessity to take effective measures against misappropriations and use of various types of explosives.

With this aim International Civil Aviation Organization (ICAO) charged by the United Nations Security Council issued international «Convention on the Marking of Plastic Explosives for the Purpose of Detection», that came into force on 21 June 1998.

For execution the Convention requirements FGUP «GosNII “Kristall”» developed processes of marking plastic and elastic explosives being produced in Russian Federation at present time. Engineering specifications necessary for their production are worked out. In order to get permit for application of marked plastic and elastic explosives, specifications for them were developed and corrected.

As marking agents p-mononitrotoluene (p-MNT) and 2,3-dimethyl-2,3-dinitrobutane (DMNB) from the recommended ICAO list were used and all the necessary studies of their physical and chemical properties, compatibility with the components of marked explosives, stability in storage and processing of the explosives and their influence on explosive and operational properties of marked compositions were carried out.

As the selected marking agents are not produced in Russia at present time, we developed processes for their manufacture and arranged industrial production at experimental and industrial base of FGUP «GosNII “Kristall”»

In order to control the execution of the Convention requirements there was developed the project of State Standard (GOSTR) «Explosives. Marking of Plastic and Elastic explosives for the Purpose of Detection. General Requirements», regulating the order and rules of plastic and elastic explosives marking in Russian Federation. Final version of the standard is in a regulating organization for approval.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПАРАЛЛАКСНОЙ СТРОБИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ НАНОГЕЙТ ДЛЯ МНОГОКАДРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

М. И. Крутик¹, В. П. Майоров²,
В. В. Попов¹, М. С. Семин²

1ООО «НПП НАНОСКАН»
(Ассоциация ВИДЕОСКАН), Москва, Россия

2ЗАО «НПК ВИДЕОСКАН»,
(Ассоциация ВИДЕОСКАН), Москва, Россия

В докладе рассматриваются вопросы разработки и применения беспараллаксных дистанционно управляемых цифровых электронно-оптических камер (ЭОК) и многокамерных комплексов на их основе для сверхскоростной регистрации быстропротекающих процессов. Разработанная в «НПП НАНОСКАН» совместно с «НПК ВИДЕОСКАН» двухканальная электронно-оптическая камера **НАНОГЕЙТ Т2 (NANOGATE T2)** построена на основе доработанных авторами плоских электронно-оптических преобразователей (ЭОП) второго поколения.

Изображение регистрируемого объекта через входной объектив и линзово-призменную систему деления изображения проецируется на несколько каналов (в данной камере — на два) и фокусируется на фотокатоды двух электронно-оптических преобразователей. На каждый из двух электронно-оптических преобразователей поступает 50% энергии регистрируемого изображения. Такая электронно-оптическая схема камеры обеспечивает отсутствие параллакса при многоканальной (многокадровой) съемке быстропротекающих процессов. В камере применены ЭОП с рабочим диаметром фотокатода 18 мм и ПЗС матрицы формата 1/2" 1390 × 1040 пикселей. Все временные и энергетические параметры камер серии NANOGATE (длительности затворных импульсов, временная задержка запуска и коэффициент усиления ЭОП) устанавливаются дистанционно с удаленного компьютера (независимо для каждого канала) в диапазонах:

длительности затворных импульсов ЭОП	10 нс ч 20 мкс (шаг 10 нс);
временные задержки запуска камер	40 нс ч 1 300 мкс (шаг 5нс);
коэффициент усиления ЭОП	коэффициент усиления ЭОП

Результирующее пространственное разрешение ЭОК, приведенное к фотокатоду, составляет 30мм-1 при 10 нс и 33 мм-1 для остальных значений длительности затворных импульсов ЭОП.

В каждом из каналов возможно включение режима многократной экспозиции, при котором электронный затвор ЭОП последовательно открывается несколько раз через точно заданные интервалы времени. Таким образом, с одного канала регистрируется изображение, состоящее из нескольких сложенных изображений летящего объекта. Программно-аппаратные методы формирования временных интервалов обеспечивают погрешность их установки менее 0,1%, обеспечивая при этом высокую точность измерения пространственных характеристик объекта перемещающегося в пространстве со скоростью до 7–8км/сек.

В докладе приведены результаты регистрации изображений быстропротекающих процессов при наносекундных временах экспозиции, полученные камерами серии НАНОГЕЙТ в различных научных центрах страны (РНИЦ «Курчатовский Институт», Институт теплофизики экстремальных состояний ОИВТ РАН, Институт электрофизики и электроэнергетики РАН и др.).

Таблица

Частота кадров в секунду	Максимально возможный формат регистрируемого изображения
До 488	1280*1024
500	1280*1000
1000	1280*500
2000	1280*250
5000	1280*100
10000	1280*50
—	—
250000	1280*1

Система выпускается как в цветном варианте так и в монохромном.

Система включает в себя:

- Камеру скоростной видеосъемки с объективом;
- Управляющий компьютер;
- Соединительный кабель.

По желанию Заказчиков мы можем устанавливать камеру скоростной видеосъемки в защитный термо-кожух для использования камеры при температуре окружающего воздуха от –30 до +50° С.

Соединительный кабель камера-компьютер имеет длину до 50 метров и также может быть сделан для эксплуатации при пониженной температуре.

В систему может устанавливаться буферная память, обеспечивающая время видеозаписи (при максимальном размере кадра и максимальной кадровой частоте) от 2,6 до 16 сек. Возможно, увеличение времени видеозаписи за счет уменьшения числа строк в кадре (при сохранении числа пикселей в строке) регистрируемого изображения.

Диапазон устанавливаемых экспозиций в системе VS-FAST от кадрового периода до 10 мкс. Для обеспечения более коротких экспозиций, вплоть до 10 нс, камера может быть оснащена электронно-оптическим затвором на основе ЭОП.

Система VS-FAST широко применяется во многих научных учреждениях страны (ВНИИЭФ, ВНИИТФ, МФТИ, МГУ и т. д.). С помощью системы можно производить исследования в различных областях техники и науки.

В частности в ВНИИЭФ были произведены съемки процессов взрыва мощного заряда ВВ в объеме заполненном пожарной пеной и испытания макетов экспериментального заряда.

На базе и с участием специалистов ФГУП ЦНИИ «Буревестник» (Н-Новгород) были проведены съемки различных баллистических процессов.

СИСТЕМЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ВИДЕОСЪЕМКИ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКЕ

А. А. Бутузов, В. П. Майоров,
Л. Ф. Овчинников, К. Ю. Окуньков,
И. М. Семин, М. С. Семин

ЗАО «НПК ВИДЕОСКАН», Москва, Россия

В докладе представлены параметры разработанной в ЗАО НПК «ВИДЕОСКАН» системы скоростной видеосъемки VS-FAST и результаты ее применения при регистрации быстропротекающих процессов в различных областях науки и техники. Система VS-FAST обладает высокими пространственно-временными характеристиками и позволяет производить регистрацию быстропротекающих процессов с кадровой частотой 488 – 250 000 кадров в секунду (см. табл.), осуществлять оперативный просмотр зарегистрированных видеозаписей и выполнять их предварительную обработку.

ИМПУЛЬСНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА С ДЕТОНАЦИОННЫМ ИНИЦИИРОВАНИЕМ

М. С. Дроздов, Л. И. Бубнова,
С. И. Светличный

Филиал Института энергетических проблем
химической физики РАН, Черногловка, Россия

Рассматриваются мощные многоцветные импульсные (и импульсно-периодические) химические источники света на основе смесей дicyана с кислородом или окислами азота. Адиабатическая температура взрыва в них рекордная для химии и составляет около 6000 К. Для разнообразных применений (накачка твердотельных активных элементов, маяки, ИК-ловушки и пр.) были разработаны лампы различной геометрии. Характерные размеры варьировались от 1 до 50 см, излучающие объемы — от нескольких см³ до нескольких л, энергия излучения — от 50 Дж до десятков КДж, длительность излучения обычно от 0,5 до 3 мс. Рабочие давления смеси составляли 1–2 атм. В состав смеси входили особые добавки (~1%) типа BCl_3 , которые обеспечивали необходимую излучательную способность. По измерениям и расчетам световой КПД подобных ламп около 20%.

Сложной задачей оказалось осуществить быстрое, относительно однородное и безопасное инициирование взрывов в устройствах значительного объема. Только детонация обеспечивает сгорание исходного газа за времена, существенно меньшие времени остывания продуктов. Лучше всего для этого подходит перепуск детонации из «инициирующей» трубки. Однако, в ряде случаев развиваемые давления во взрыве столь высоки, что даже самые прочные разборные элементы конструкции разрушались. Исследование режимов распространения детонации при выходе из узких каналов в объем показало, что разрушения происходят при начальном давлении смеси не выше, а ниже некоторого критического начального давления смеси, зависящего от длины «инициирующей» трубки. Опытным путем найдены оптимальные размеры «инициирующих» трубок, обеспечивающие надежное и безопасное инициирование детонации в рабочих смесях при давлении 0,2 атм и выше. В итоге был сконструирован ряд успешно работающих инициаторов различной формы и симметрии.

Важнейшие достоинства химических источников света: автономность, мобильность и компактность. Лазерная генерация была получена на Nd^{3+} фосфатных стеклах, $\lambda = 1,06$ мкм. Лазерный КПД

и удельная энергия генерации в многоэлементных устройствах приближаются к ~1% и к ~1 Дж с 1 см³ активного элемента, соответственно.

PULSE CHEMICAL LIGHT SOURCES WITH DETONATION INITIATION

M. S. DROZDOV, L. I. BUBNOVA, S. I. SVETLICHNYI

Branch of Institute of Energy Problems of Chemical
Physics, Russian Academy of Science,
Chernogolovka, Russia

Powerful reusable pulse (and pulse-periodic) chemical light sources on the basis of gas mixtures dicyanogen with oxygen or oxides of nitrogen are considered. Adiabatic temperature of explosion in them is record for chemistry (near 6000 K). Lamps of various geometry for various applications (light-pumping of solid-state active elements, lighthouses, IR-traps, etc) have been developed. The characteristic sizes varied from 1 up to 50 cm, radiating volumes — from several cm³ up to several liter, energy of radiation — from 50 J up to tens KJ, duration of radiation is usual from 0,5 up to 3 ms. Working pressure of a mixtures is 1–2 atm. The mixtures included special additives (~1%) which provided necessary radiating ability. The measurements and calculations show that the light efficiency of similar lamps is about 20%.

In practice it is very difficult to carry out fast, rather homogeneous and safe initiation of explosions in devices of significant volume. Only the detonation provides the combustion of initial gas for times, essentially smaller the time of cooling of products. For this purpose the best way is the «detonation transfer» from an «initiating» tube. However, in some cases pressures, developed in explosion, are so high, what even the strongest elements of a design can be destroyed. Research of detonation regimes at an exit from narrow channels to a large volume reveal, that destructions occur at initial mixture pressure lower than some critical limit dependent on length of the «initiating» tube. We have found the optimal dimensions of «initiating» tubes, providing the safe initiation of a detonation in mixtures of dicyanogen with oxygen at the pressures above 0,2 atm. In a result a number of successfully working initiators of the various form and symmetry has been designed.

The major advantages of chemical light sources are: autonomy, mobility and compactness. Laser generation on Nd^{3+} phosphatic glasses was obtained, $\lambda = 1,06$ micron. Laser efficiency and specific energy in multielement devices approach to ~1% and ~1 J/1 cm³ of an active element, correspondently.

КУМУЛЯТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЗАРЯДАХ КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВВ, СОДЕРЖАЩИХ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫЕ УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

И. А. БАЛАГАНСКИЙ¹, А. Д. МАТРОСОВ²,
И. А. СТАДНИЧЕНКО², А. В. ВИНОГРАДОВ¹,
А. И. ГЛУМОВ¹

¹Новосибирский государственный технический
университет, Новосибирск, Россия

²Институт гидродинамики им. М. А. Лаврентьева
СО РАН, Новосибирск, Россия

Взрывные системы на основе зарядов конденсированных ВВ, включающих высоко модульные упругие элементы, такие как керамики и стекла, представляют большой интерес для исследований. В частности, в них могут наблюдаться кумулятивные явления. В литературе описаны процессы кумуляции при взрывном обжатии трубки из окиси алюминия и эффект повышения локального действия взрыва заряда ВВ, помещенного в оболочку из карбида кремния. В данной работе мы экспериментально наблюдали явление кумуляции в пассивном заряде литого ТГ 40/60 без кумулятивной выемки при его ударно-волновом нагружении взрывом активного заряда через воду после предварительного сжатия опережающей волной через стержень из карбида кремния. Явление проявилось в образовании кратера в образце-свидетеле глубиной около 10 мм и диаметром около 5 мм. Образец-свидетель устанавливался на заднем торце пассивного заряда для определения наличия или отсутствия детонации. При этом поверхность образца-свидетеля имела цвета побелости, что свидетельствовало о действии высоких температур. По нашему мнению основная причина кумуляции продуктов взрыва пассивного заряда ВВ заключается в его десенсибилизации при нагружении опережающей волной и последующем инициировании не с торцевой, а с боковой поверхности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект #06-08-00138.

CUMULATION PHENOMENA IN HIGH EXPLOSIVES, WHICH INCLUDE HIGH MODULUS ELASTIC ELEMENTS

I. A. BALAGANSKY¹, A. D. MATROSOV²,
I. A. STADNICHENKO², A. V. VINOGRADOV¹,
A. I. GLUMOV¹

¹Novosibirsk State Technical University,
Novosibirsk, Russia

²Institute of Hydrodynamics SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Explosion systems based on condensed high explosive charges, which contain high modulus elastic elements corresponds to ceramics and glasses, are very interested for investigations. In particular, cumulation phenomena may be realized in these systems. The process of cumulation under explosion collapse of alumina tube, and local growth of explosion effect of HE charge located in silicon carbide shell are described in the literature. In this work we experimentally observed cumulation phenomenon in a passive HE charge of cast Comp B without cumulative cavity under shock wave loading with active HE charge through water after preloading with advanced wave through silicon carbide rod. On the rear end of the passive HE charge an identification steel specimen was mounted, which detected presence or absence of detonation. The cumulation phenomenon manifested itself as a hole in identification steel specimen with depth of about 10 mm. The surface of specimen had typical temper colours that demonstrated presence of high temperatures. We are of the opinion that the main reason of explosion products cumulation is desensitization of passive HE under preloading of advanced wave through silicon carbide rod and posterior initiation on lateral face.

This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 06-08-00138).

ДИФРАКЦИЯ УДАРНЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В ГАЗОВЗВЕСЯХ

Ю. В. КРАТОВА, А. В. ФЕДОРОВ, Т. А. ХМЕЛЬ

Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича, Новосибирск, Россия

В данной работе на основе физико-математической модели движения двухфазной среды в рамках двухскоростной двухтемпературной

механики гетерогенных сред и численного моделирования двумерных течений анализируются волновые структуры, возникающие при дифракции ударных и детонационных волн на распаде сечения плоского канала. В качестве рабочего тела, заполняющего канал, рассматриваются монодисперсные смеси частиц алюминия различного диаметра и кислорода. Показано, что: 1) влияние размера частиц на картину дифракции ударных волн наиболее выражено в интервале времени, когда характерные размеры структур сопоставимы с масштабами релаксационных зон; 2) развитие процесса детонации (срыв и реиницирование) зависит как от соотношения сторон узкой и широкой части канала так и от размера частиц, массовой загрузки и степени пересжатия детонационной волны.

DIFRACTION OF SHOCK AND DETANATION WAVES IN DAS SUSPENSIONS

YU. V. KRATOVA, A. V. FEDOROV, T. A. KHMEL

Khrstianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

In the present work, we analyze the wave structures arising at a diffraction of shock and detonation waves at a cross-sectional breakdown of a flat duct on the base of numerical modeling of two-dimensional flows. We consider monodispersed mixtures of aluminum particles of various diameters in oxygen. The mathematical model is based on the two-velocity and two-temperature approach of mechanics of heterogeneous media.

The purposes of the work are as follows: development of an adequate numerical technique; numerical modeling of the shock and detonation waves propagation processes in gas-particle mixture in the duct with a sudden expansion; investigation of the influence of the mass loading and the particle size on the wave structure.

The influence of particle size on SW diffraction pattern is the most pronounced in the time interval when the typical dimensions of structures are comparable with scales of relaxation zones.

The overdriven plane detonation waves behaviour in gas-particle mixtures in the ducts with a cross-sectional discontinuity on the transverse sizes of the duct narrow and wide parts, particle size and particle loading.

МЕХАНИЗМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛНЫ ЦЕПНОЙ РЕАКЦИИ

В. Г. КРИГЕР, А. В. КАЛЕНСКИЙ,
М. В. АНАНЬЕВА, А. П. БОРОВИКОВА,
А. А. ЗВЕКОВ

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Возможным каналом превращения энергии, выделяющейся при разложении энергетических материалов, наряду с диссипацией в тепло, является размножение электрон-дырочных (e.h.) пар, что приводит к развитию в кристалле энергетической цепной реакции (ЦР). Скорость распространения реакции взрывного разложения в азиде серебра (АС), инициированного импульсным излучением, составляет величину $V \sim 1000$ м/с, что значительно меньше скорости детонации ($V \sim 5,7$ км/с), но гораздо больше скорости горения ($V \sim 5$ м/с). Целью настоящей работы является формулировка и апробация нового механизма распространения волны ЦР по кристаллу, отличного от известных механизмов детонации и горения. Основная гипотеза предлагаемого механизма состоит в том, что размножение электронных возбуждений (переносчиков цепи) за счет энергии реакции происходит не только в облученной зоне, но и в некотором слое толщиной r_0 вне ее.

Следствием этого является значительное (более чем на порядок) увеличение пороговой плотности энергии инициирования реакции (H_c) при уменьшении диаметра облучаемой зоны $d = 1000$ ч 10 мкм. С другой стороны, передача энергии из реакционной зоны приводит к уменьшению эффективной константы экспоненциального роста (K_p) скорости ЦР (при варьировании d в тех же пределах).

Сопоставление с экспериментом позволило определить эффективное расстояние передачи энергии $r_0 = 55 \pm 5$ мкм для $H_c(d)$ и $r_0 = 60 \pm 5$ мкм для $K_p(d)$. Практическое совпадение полученных величин r_0 позволяет полагать, что уменьшение $K_p(d)$ и увеличение $H_c(d)$ при уменьшении диаметра зоны облучения (на 3 порядка) определяются одной и той же причиной – передачей энергии реакции из облученной зоны в непрореагировавшую часть кристалла.

С полученными значениями r_0 проведено математическое моделирование формирования и распространения по кристаллу АС волны ЦР. Рассмотрены несколько вариантов инициирования ЦР: генерация e. h. пар в приповерхностной области кристалла, очаговое и гомогенное возбуждение. Расчеты проводились при различных распределениях по кристаллу концентрации центров обрыва цепи. Получено аналитическое

выражение для скорости распространения реакции по кристаллу в зависимости от параметров модели. Полученные закономерности и рассчитанные скорости распространения реакции по кристаллу близки к экспериментальным.

THE MECHANISM OF CHAIN REACTION WAVE PROPAGATION

V. G. KRIGER, A. V. KALENSKY, M. V. ANAN'EVA,
A. P. BOROVIKOVA, A. A. ZVEKOV

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

The possible transformation channel of energy evolved under energetic material decomposition along with dissipation to heat is multiplication of electron-hole pairs. It is result to development of energetic chain reaction in crystal. The propagation rate of silver azide (SA) explosive decomposition initiated by the pulse radiation is value $V \sim 1000$ m/s. That value is sufficiently less than detonation rate ($V \sim 5.7$ km/s) and is greatly more than burning rate ($V \sim 5$ m/c). The objective of this work is a formulation and approbation of new chain reaction wave propagation mechanism different from known mechanisms of detonation and burning. The general hypothesis of proposed mechanism is that multiplication of electronic excitations owing to reaction energy take place not only in irradiated area but in certain layer r_0 outside area too.

In result of this the threshold energy density (H_c) of reaction initiation under decreasing irradiated area diameter $d = 1000$ ч $10 \mu\text{m}$ increase sufficiently (more than order of value). On the other hand the transfer of energy from reaction area is result in decrease of exponential raise effective constant (K_p) of chain reaction rate (under variation d within the same range).

The comparison with experiment allowed to determine effective distance of energy transfer $r_0 = 55 \pm 5 \mu\text{m}$ for $H_c(d)$ and $r_0 = 60 \pm 5 \mu\text{m}$ for $K_p(d)$. The proposed mechanism allows to interpret regularities of as generation and development so propagation of chain reaction wave in silver azide crystal as a single whole. Using determined values r_0 the mathematical simulation of chain reaction wave formation and propagation in silver azide crystal was carried out. The found regularities and the calculated rates of reaction propagation along the crystal is close to experimental ones. This work has been done with the financial support of RFBR (# 07-03-01099).

ВЗРЫВНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ АЗИДА СЕРЕБРА В КОНТАКТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Д. В. ДОБРЫНИН, В. И. КРАШЕНИНИН,
Л. В. КУЗЬМИНА, Е. Г. ГАЗЕНАУР

ГОУ ВПО «Кемеровский государственный университет», Кемерово, Россия

Целью настоящей работы является изучение основных закономерностей и развитие модельных представлений процесса перехода реакции медленного электрополевого разложения во взрывное в кристаллах азида серебра.

Разработана методика измерения взрывной чувствительности кристаллов азида серебра при действии постоянного электрического поля. Взрывную чувствительность определяли как время задержки взрыва, при котором с достоверностью 50% можно фиксировать факт взрыва образца, определяемого по вспышке. Поскольку измеряемая величина времени задержки взрыва содержит вероятностную компоненту, и как показали эксперименты, зависит от биографии образца, то для учета всех указанных параметров в качестве эталонного выбрано время задержки взрыва при напряженности контактного электрического поля 3 кВ/см (Ga-AgN_3), т. к. эта напряженность соответствует при вероятности 50% времени задержки взрыва — 350 сек. Поэтому экспериментальные результаты по влиянию различных видов обработки на взрывную чувствительность будут сравниваться с эталонным значением, из чего можно сделать вывод на качественном уровне о наличии эффекта или его отсутствии.

Экспериментально установлено, что взрывному разложению кристаллов азида серебра предшествует резкое увеличение скорости внешнего газо-выделения, электрической проводимости, а также изменение линейных размеров образцов. Обнаружена гигантская электрострикция кристаллов азида серебра. Максимальное изменение размеров кристаллов соответствует значению $\Delta l/l = (1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$.

На основе полученных экспериментальных данных предложена непротиворечивая модель перехода реакции медленного электрополевого разложения во взрывное, представляющая ряд последовательных стадий: инжекция основных носителей заряда (дырок); развитие реакции в реакционных областях; генерация новых дислокаций и образование новых реакционных областей; развитие реакции в новых реакционных областях. Это позволило предсказать минимальное время (2 мин 30 с)

перехода медленного электрополевого разложения во взрывное в кристаллах азидов серебра.

Разработаны новые методы управления взрывной чувствительностью кристаллов азидов серебра с помощью электрических ($E = 10^{-5} \div 1^{-2}$ В/см), магнитных ($H \approx 0,3$ Тл) и упругих полей.

THE EXPLOSIVE DECOMPOSITION OF CRYSTALS SILVER AZIDE IN THE CONTACT ELECTRIC FIELD

D. V. DOBRYNIN, V. I. KRASHENININ,
L. V. KUZMINA, E. G. GAZENAU

The Kemerovo state university, Kemerovo, Russia

The purpose of the present work is studying the basic laws and development of modelling representations of process of transition of reaction of slow electrofield decomposition in explosive in the crystals of silver azide.

The technique of measurement of explosive sensitivity of crystals silver azide is developed at action of a constant electric field. Explosive sensitivity defined as time of a delay of explosion at which with reliability of 50% it is possible to fix the fact of explosion of the sample defined on flash. As the measured size of time of a delay of explosion contains likelihood to a component and as have shown experiments, depends on the biography of the sample for the account of all specified parameters as reference time of a delay of explosion is chosen at intensity of a contact electric field of 3 kV/sm ($\text{Ga}-\text{AgN}_3$) since this intensity corresponds at probability of 50% of time of a delay of explosion — 350 s. Therefore experimental results on influence of various kinds of processing on explosive sensitivity will be compared to reference value from what it is possible to draw a conclusion at a qualitative level on presence of effect or its absence.

It is experimentally established, that explosive decomposition of crystals silver azide is preceded with sharp increase in speed of external gas evolution, electric conductivity, and also change of the linear sizes of samples. It is found out huge electrostriction of crystals silver azide. The maximal change of the sizes of crystals corresponds to value $\Delta l/l = (1,6 \pm 0,5) \cdot 10^{-2}$.

On the basis of the received experimental data the consistent model of transition of reaction of slow electrofield decomposition in explosive, representing a number of consecutive stages is offered: injection of the basic carriers of a charge (holes); development of reaction in reactionary areas; gene-

ration of new dispositions and formation of new reactionary areas; development of reaction in new reactionary areas. It has allowed to predict minimal time (2,5 min) transition of slow electrofield decomposition in explosive in crystals silver azide.

New methods of management by explosive sensitivity of crystals silver azide by means of electric ($E = 10^{-5} \div 10^{-2}$ V/sm), magnetic ($H \approx 0,3$ T) and elastic fields are developed.

ИНИЦИИРОВАНИЕ АЗИДОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ВНЕШНИМ ИМПУЛЬСОМ

В. М. ЛИСИЦЫН, В. И. ОЛЕШКО,
В. П. ЦИПИЛЕВ, А. Н. ЯКОВЛЕВ

Томский политехнический университет,
Томск, Россия

Исследованы энергетические пороги и кинетика процесса инициирования азидов тяжелых металлов (АТМ) (порошки, макрокристаллы, нитевидные кристаллы) при возбуждении коротким импульсом лазерного излучения в области прозрачности азидной матрицы и в области и в области сильного собственного поглощения, а также импульсом ускоренных электронов.

Проведено сравнение чувствительности АТМ при возбуждении пучком неодимового ($\lambda = 1060$ нм), эксимерного ($\lambda = 308$ нм) и CO_2 ($\lambda = 10600$ нм) лазеров, а также импульсом электронов с энергией 300 кэВ. Сопоставление порогов проводилось по наиболее информативному параметру w_{05} пороговой объемной плотности энергии — минимальной энергии, поглощенной в единице объема ВВ не приводящей к взрывному разложению вещества.

Показано, что при лазерном воздействии в области прозрачности реализуются низкопороговые режимы инициирования ($w_{05} \sim 10^{-3}$ Дж/см³, $\mu = 10^2$ см⁻¹, неодимовый лазер), а при увеличении поглощения порог возрастает от 10^3 Дж/см³ ($\mu = 10^3$ см⁻¹, CO_2 — лазер) до 10^5 Дж/см³ ($\mu = 10^5$ см⁻¹, ХеСл — лазер). Эти результаты не могут найти объяснения с позиций цепной природы (размножения зонных носителей заряда) и тепловой макроочаговой (тепловой разогрев облученного объема).

Обсуждаются возможность и механизмы взрывного разложения из тепловых микроочагов при различных способах внешнего импульсного воздействия. Делается заключение в пользу тепловой очаговой природы инициирования взрывного разложения ВВ при лазерном и электронно-пучковом импульсном воздействии.

Обнаружены сильные различия в порогах и кинетике взрывного разложения насыпных и прессованных порошков АТМ. Так в насыпных образцах, где реализуется высокопороговое инициирование, во время облучения обнаружены пробойные явления, наблюдаемые при подпороговых уровнях лазерного воздействия, сопровождающиеся фазой горения ВВ в режиме затухания. При инициировании прессованных образцов и кристаллов предвзрывные явления отсутствуют. Обсуждаются причины наблюдаемых различий.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 06-03-32724

INITIATION OF HEAVY METAL AZIDES BY EXTERNAL PULSE

V. M. LISITSYN, V. I. OLESHKO,
V. P. TSIPILEV, A. N. YAKOVLEV

Tomsk polytechnic university, Tomsk, Russia

The power thresholds and kinetics of process of initiation of heavy metal azides (HMA) (powder, macrocrystals, filamentary crystals) under excitation by short laser pulse in the range of transparency of azide matrix and in the range of strong self-absorption, as well as by pulse of accelerated electrons have been studied.

The comparison of HMA sensitivity under excitation by neodymium ($\lambda = 1060$ nm), excimer ($\lambda = 308$ nm) and CO_2 ($\lambda = 10600$ nm) lasers, as well as by pulse of electrons with energy of 300 keV has been made. The comparison of thresholds was carried out on most informative parameter w_{05} — the threshold cubic power density — minimal energy, absorbed into unit of explosive volume, which is not lead to explosive decomposition of material.

It has been shown that at laser excitation in the range of transparency the low-threshold modes of initiation ($w_{05} \sim 10^{-3} \text{ J/cm}^3$, $\mu = 10^2 \text{ cm}^{-1}$, neodymium laser) were realized, and at rise of absorption the threshold increase from 10^3 J/cm^3 ($\mu = 10^3 \text{ cm}^{-1}$, CO_2 — laser) to 10^5 J/cm^3 ($\mu = 10^5 \text{ cm}^{-1}$, XeCl — laser). These results can not be explained from position of chain nature (duplication of zoned carriers of a charge) and thermal nature — macrocenter (heating-up of irradiation volume).

The possibility and mechanisms of explosive decomposition from thermal microcenter under deferent kind of external pulsed excitations are discussed. The conclusion in favour of thermal center nature of initiation of explosive decomposition under laser and electron beam pulsed excitation has been made.

The strong difference of thresholds and kinetics of explosive decomposition of the fillings and pressed powders of HMA have been obtained. In the fillings, where is realized the high-threshold initiation, during irradiation the breakdown phenomena are reveal, which are observable at subthreshold levels of laser excitation, and accompanying by combustion phase of HMA on attenuation mode. The pre-explosive phenomena are absent at initiation of the pressed samples and crystals. The reasons of observable differences are discussed.

This work was supported by RFBR, grant #06-03-32724.

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВЗРЫВНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ АЗИДА СЕРЕБРА

В. Г. КРИГЕР, А. В. КАЛЕНСКИЙ, В. П. ЦИПИЛЕВ,
А. П. БОРОВИКОВА, А. А. ЗВЕКОВ

Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Работа посвящена экспериментальному и теоретическому исследованию кинетики и механизмов разветвленных твердофазных цепных реакций в энергетических материалах, типичным представителем которых является азид серебра (АС). Проведено комплексное исследование закономерностей взрывного разложения кристаллов АС методом синхронного измерения основных параметров процесса: свечение из зоны лазерного воздействия, свечение всего образца, акустический (ударно-волновой) отклик. В качестве источника оптического излучения использовался одномодовый одночастотный неодимовый лазер. Максимальная энергия излучения лазера составляет 20 Дж, длительность импульса на полувывсоте $\tau = 30$ нс.

Для каждого образца определялись параметры характерных участков кинетики взрывного свечения, светосуммы, скорость распространения реакции по кристаллу. Показано, что сигналы зонных и обзорных ФЭУ имеют качественные различия. Первые имеют простейшую структуру (один максимум), относительно короткую длительность (100–300 нс). Сигналы обзорных ФЭУ имеют сложную структуру (до 4 пиков) и большую длительность (2–25 мкс). Основная часть фиксированного панорамным ФЭУ излучения относится к продуктам реакции.

Исследованы зависимости критической энергии инициирования взрывного разложения АС от

размера образца $H_c(r)$ и диаметра зоны облучения $H_c(d)$. Показано, что зависимость $H_c(d)$ может определяться особенностями процесса передачи энергии продуктов реакции решетке АС. Экспериментально показано, что зависимость $H_c(r)$ определяется диффузией реагентов на поверхность кристалла и их быстрой рекомбинацией там. Впервые определены коэффициент диффузии реагентов ($D \approx 0,3 \text{ см}^2/\text{с}$) и константа скорости рекомбинации *e.h.* пар (стадии обрыва цепи) $k_r = (4,5 \pm 0,4) \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ в условиях взрывного разложения образца. Определенные величины хорошо совпадают с экспериментальными, полученными при исследовании фотопроводимости и эффекта Холла в АС. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (# 07-03-01099).

KINETIC OF SILVER AZIDE EXPLOSIVE DECOMPOSITION

V. G. KRIGER, A. V. KALENSKY, B. P. TSIPILEV,
A. P. BOROVIKOVA, A. A. ZVEKOV

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

This work is devoted to experimental and theoretical investigation of reaction kinetics and mechanism in energetic materials where silver azide is typical representative. The complex analysis of silver azide crystal explosive decomposition regularities was carried out by method of general parameter synchronous measurement: luminescence from laser exposure band; the whole sample luminescence; acoustical (shock-wave) response. The single-mode one-frequency neodymium laser was used as a source of optical radiation. Maximal energy of laser radiation is 20 J, and half-amplitude pulse duration is $\tau = 30 \text{ ns}$.

For each sample the parameters of characteristic parts of explosive luminescence kinetics, light amount, propagation rate of reaction along crystal were determined. It is shown that signals of band and overview photomultipliers have qualitative differences. The first ones have the simplest structure (one peak), relatively short duration (100–300 ns). The signals of overview photomultipliers have a complex structure (up to 4 peaks) and the longer duration (2–25 μs). The general part of radiation measured by panoramic photomultiplier is related to reaction products.

Initiation critical energy of silver azide explosive decomposition was determined depending on sample size $H_c(r)$ and irradiation zone diameter $H_c(d)$. It is shown that $H_c(d)$ dependence can be determined by process features of reaction product energy transmission to silver azide lattice.

It is experimentally shown that $H_c(r)$ dependence is determined by reagent diffusion to crystal surface and their fast recombination on surface. The first the diffusion coefficient of reagents ($D \approx 0.3 \text{ cm}^2/\text{s}$) and constant of *e.h.* pair recombination rate (breaking chain stages) $k_r = (4,5 \pm 0,4) \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}$ are determined under conditions of sample explosive decomposition. The determined values are greatly conformed to experimental values obtained at photoconduction and Hall effect investigations of silver azide. This work has been done with the financial support of RFBR (No. 07-03-01099).

ДИНАМИКА РАЗЛЕТА ПРОДУКТОВ ВЗРЫВА АЗИДА СЕРЕБРА

Н. Л. АЛУКЕР¹, А. Г. КРЕЧЕТОВ²,
А. Ю. МИТРОФАНОВ², А. С. ПАШПЕКИН²

¹Кемеровский филиал Института химии
твёрдого тела и механохимии СО РАН,
Кемерово, Россия

²Кемеровский государственный университет,
Кемерово, Россия

Ранее было обнаружено, что при взрыве азид серебра подавляющая часть энергии выделяется уже после диспергирования образца, т. е. на стадии разлета продуктов взрыва. Можно ожидать, в связи с этим нагревом, наличия некоторых особенностей в кинетике разлета продуктов взрыва.

Объектами исследования служили нитевидные кристаллы азид серебра. Иницирование осуществлялось импульсами YAG:Nd³⁺ лазера. Использовались два канала регистрации — опорный канал, позволяющий регистрировать токовый импульс в иницируемом образце и тестовый канал позволяющий регистрировать токовый импульс в тестовом разрядном промежутке, возникающий при его замыкании разлетающимися продуктами взрыва. Сигналы подавались на вход осциллографа Tektronix TDS3032B. Временной сдвиг между опорным и тестовым сигналами определялся длительностью пролета продуктов взрыва до тестового разрядного промежутка.

Увеличение базы разлета «*l*» приводит к смещению тестового сигнала в сторону больших времен и уменьшению его амплитуды. До $l \approx 3 \text{ мм}$ эта зависимость хорошо аппроксимируется выражением $l = 0,5a(t - t_0)^2$ при $a = (3,6 \pm 0,2) \cdot 10^9 \text{ м/с}^2$, $t_0 = 70 \pm 20 \text{ нс}$.

При увеличении базы разлета свыше $\sim 3 \text{ мм}$, ускорение падает, а затем с увеличением расстояния падает и скорость разлета.

Наличие ускорения однозначно свидетельствует о энерговыделении на этой стадии разлета продуктов взрыва. Поэтому ускоренный характер движения на начальных стадиях разлета можно рассматривать в качестве еще одного серьезного довода в пользу сделанного в предыдущих работах вывода о том, что основная экзотермическая реакция $2\text{N}_3 \rightarrow 3\text{N}_2$ протекает в АТМ, в основном, не в исходном образце, а уже на стадии разлета продуктов взрыва.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 05-03-32010а).

DYNAMICS OF SILVER AZIDE EXPLOSIVE PRODUCTS RECESSION

N. L. ALUKER¹, A. G. KRECHETOV²,
A. YU. MITROFANOV², A. S. PASHPEKIN²

¹Kemerovo branch of Institute of solid chemistry and mechanochemistry SB RAS, Kemerovo, Russia

²Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

It was discovered earlier when silver azide explosion the most part of energy is evolved after sample dispersion, i. e. at the explosive products recession stage. In connection with this heating it is possible existing of some features of explosive products recession kinetics.

Silver azide whiskers were investigation objects. Initiation was realized by pulses of YAG:Nd³⁺ laser. Two registration channels were used. The first one is a reference channel recording current pulse in an initiated sample. The second one is a test channel recording current pulse in a test discharge space appearing when it is closed by scattering explosive products. Signals were inputted to oscilloscope Tektronix TDS3032B. Skewing between reference and test signals was defined as duration of explosive products flight to the test discharge space.

Recession base «*l*» increasing is resulted in test signal displacement to the direction of greater times and decreasing of its amplitude. Until $l \approx 3$ mm this dependence is approximated well by the equation $l = 0,5a(t - t_0)^2$ at $a = (3,6 \pm 0,2)10^9$ m/s², $t_0 = 70 \pm 20$ ns.

When over ~3 mm base recession increasing acceleration is reduced and then when distance is increased recession velocity is reduced also.

Acceleration existing is an evidence of energy evolving in the stage of explosive products recession. So accelerated character of moving at initial recession stages may be considered as one more serious argument to the next conclusion concluded in the previous works. The main exothermic reaction

$2\text{N}_3 \rightarrow 3\text{N}_2$ is realized in HMA principally not in the starting sample but at the explosive products recession stage.

The investigation is realized under support of RFFI grant # 05-03-32010a.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТАТБ НА ЕГО СВОЙСТВА

И. А. БАТАЛОВА, Н. Ю. ФИЛИПОВА,
В. П. ФИЛИН, Н. П. ТАЙБИНОВ,
Т. В. АНТИПОВА, И. В. ЧЕМАГИНА, А. Л. ГАГАРИН

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

В докладе приведены результаты отработки технологии получения крупных (до 2 мм) кристаллов ВВ ТАТБ. Кристаллы ТАТБ получали перекристаллизацией из раствора на установке с регулируемой скоростью охлаждения. В качестве растворителя для ВВ ТАТБ использовался диметилсульфоксид (ДМСО).

Термостойкость кристаллов ТАТБ, полученных при различных режимах перекристаллизации, была исследована методами термогравиметрического и дифференциально-термического анализов в сравнении с ТАТБ, полученным промышленным способом. Показано, что наличие примесей в ТАТБ приводит к снижению параметров термостойкости.

В докладе приведены фотографии кристаллов.

ОБНАРУЖЕНИЕ СЛЕДОВ ВВ КАПЕЛЬНЫМ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

О. В. ХРУЛЕВА, В. П. ФИЛИН, Н. П. ТАЙБИНОВ,
Т. В. АНТИПОВА, Н. В. ГАРМАШЕВА,
Н. Ю. ФИЛИПОВА, Т. Н. КОРДАС, В. П. ВЕДЕНИН

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

В докладе отражены основные этапы работы по совершенствованию методики капельного колориметрического экспресс-анализа обнаружения ВВ. В работе представлены результаты по определению чувствительности 14 выбранных

и улучшенных тестов. Результаты исследований приведены на инертных материалах, смесях (инертный материал + ВВ) и пробах с грунтом.

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВЕЛИЧИНУ КРИТИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ ДЕТОНАЦИИ ВВ НА ОСНОВЕ ТАТБ

Б. Г. Лобойко, В. П. Филин, О. В. Костицын,
Ю. А. Беленовский, Е. Б. Смирнов,
А. В. Вершинин, А. С. Никулин,
В. А. Пестричихин, К. М. Мирошкин,
К. М. Просвирнин

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

Исследование критических условий распространения детонации кроме прагматического интереса имеет важное фундаментальное значение. В области околоскритических условий распространения детонации, реализующихся при приближении к критическому сечению детонации, в значительной степени проявляются факторы, определяющие кинетику протекания химической реакции в детонационной волне. Влияние этих факторов и их роль легче всего обнаруживается для взрывчатых веществ обладающих большим критическим сечением детонации. Яркими представителями таких взрывчатых веществ является ВВ на основе ТАТБ.

В данной работе проведено экспериментальное определение величины критической толщины детонации взрывчатого вещества на основе ТАТБ. Исследовано влияние на данную величину таких факторов как пористость и температура.

EFFECT OF POROSITY AND TEMPERATURE ON THE VALUE OF CRITICAL SECTION OF TATB BASED EXPLOSIVES DETONATION

B. G. LOBOIKO, V. P. FILIN, O. V. KOSTITSIN,
YU. A. BELENOVSKY, E. B. SMIRNOV, A. V. VERSHININ,
A. S. NIKULIN, V. A. PESTRICHIKHIN,
K. M. MIROSHKIN, K. M. PROSVIRNIN

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

Studying critical conditions of detonation propagation has important fundamental importance in addition to merely pragmatic interest. Factors determining kinetics of the chemical reaction in the detonation wave reveal themselves in the area of near-critical conditions of detonation propagation, which are realized when approaching the critical section of detonation. Effect of these factors and their role are most evident for explosives having great critical section of detonation. Most demonstrative representatives of these materials are TATB-based explosives.

Critical thickness of TATB-based explosives detonation is experimentally determined and effect of such factors as porosity and temperature on this value is investigated in this work.

ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОВОЛНОВОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ВВ НА ОСНОВЕ ТАТБ

Б. Г. Лобойко, В. П. Филин, О. В. Костицын,
Ю. А. Беленовский, Е. Б. Смирнов,
А. В. Лебедев, В. Н. Щербаков, А. Г. Можжин,
О. С. Бродягин

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

Наиболее полную информацию о развитии процесса ударноволнового инициирования детонации получают регистрацией эволюции волновых профилей давления или массовой скорости.

В работе представлены результаты экспериментального исследования ударноволнового инициирования детонации в зарядах из взрывчатого вещества на основе ТАТБ. Инициирование осуществлялось взрывным плосковолновым генератором. Амплитуда инициирующей ударной волны варьировалась от 15 до 23 ГПа, толщиной преграды из фторопласта. Параметры ударной волны, входящей во взрывчатое вещество, и ударной или детонационной волны, выходящей из ВВ во фторопластовую преграду, определялись при помощи двух пьезорезистивных датчиков давления. Регистрируемые профили позволяли определить время прохождения ударной (детонационной) волной заряда из ВВ. В отдельных опытах процесс перехода ударной волны в детонацию дополнительно регистрировался при помощи радиинтерферометра. Получена зависимость глубины возникновения детонации в заряде из ВВ от давления входящей ударной волны (диаграмма Pop-plot).

SHOCK-WAVE INITIATION OF TATB-BASED EXPLOSIVES

B. G. LOBOIKO, V. P. FILIN, O. V. KOSTITSIN,
YU. A. BELENOVSKY, E. B. SMIRNOV, A. V. LEBEDEV,
V. N. SCHERBAKOV, A. G. MOZHIN, O. S. BRODYAGIN

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

Registering evolution of wave profiles for pressure or mass velocity gives the most full information on the development of the shock-wave initiation of detonation.

The paper presents experimental results on the shock-wave initiation of detonation in charges of TATB-based explosives by the explosive plane-wave generator. With the help of the Teflon-barrier thickness, amplitude of the initiating shock wave was varied from 15 to 23 GPa. Parameters of the shock wave entering the explosive and the shock or detonation wave transmitting from the explosive into the Teflon-barrier was determined by two piezoresistive pressure gages. Registered profiles allowed the time of the shock (detonation) wave transit through the explosive charge to be determined. In some experiments, the process of «shock wave-to-detonation» transition was additionally registered by the radio frequency interferometer. The relationship of the detonation initiation depth in the HE charge on the pressure of the entering shock wave (Pop-plot) is constructed.

ИССЛЕДОВАНИЕ УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ СПЕКТРАЛЬНЫМИ МЕТОДАМИ

П. Я. ДЕТКОВ, Н. В. ГАРМАШЕВА

Российский федеральный ядерный центр –
ВНИИ технической физики, Снежинск, Россия

Проведены исследования ультрадисперсных алмазов (УДА) детонационного синтеза методами ИК-спектроскопии. Исследования проведены для порошков УДА, полученных детонационным синтезом из тротила (ТНТ) и смесей тротил/гексоген (Т/Г), бензтрифуроксан/триаминотринитробензол (БТФ/ТАТБ) в сравнении с синтетическими алмазами (АСМ). Показано, что ИК-спектр УДА содержит информацию об органических функциональных группах, адсорбированных на поверхности частиц порошка. Вид и относительное

содержание органической составляющей УДА зависит, в основном, от вида технологических воздействий, использованных при очистке алмазной шихты. Исследованы образцы УДА, прошедшие кислотно-щелочную обработку, термирование при температурах ~300°С, озонирование.

Кроме органической составляющей, ИК-спектры УДА несут информацию о некоторых видах искажения алмазной решетки. Показано, что некоторые исследованные образцы УДА содержат А-дефекты, представляющие включения двух атомов азота в алмазную решетку. Проведено сравнение полученных результатов с данными для природных и синтетических алмазов.

ULTRA FINE DIAMONDS RESEARCH BY SPECTRAL TECHNIQUE

P. YA. DETKOV, N. V. GARMASHEVA

Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

Ultra fine diamonds (UFD) of detonation synthesis were investigated by Fourier Transform Infra Red (FTIR) spectroscopy. UFD powders had been obtained by detonation of explosives (TNT) and explosive mixtures (TNT/RDX, BTF/TATB) were compared with synthetic diamonds (SD). FTIR spectra of UFD contain information on simple organic molecules and atomic groups have been absorbed on the surface of UFD particles. Types and relative contents of organic compounds in UFD powders depended on types of technological actions have been used during raw diamond-bearing soot purification. UFD samples were investigated after acidity and alkali treatment of raw material, high temperature processing (at ~300°С) and ozonated ones.

Additionally the FTIR spectra of UFD could inform one about some types of diamond lattice defects. It was shown that some of UFD samples under investigation had so-called A-defects. These defects are inclusions of two nitrogen atoms into diamond lattice. Obtained results were analyzed in comparison to ones for natural and synthetic diamonds.

**ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА
И ПОЛОЖЕНИЯ НИТРОГРУПП
В МОЛЕКУЛАХ НЕСКОЛЬКИХ
НИТРОСОЕДИНЕНИЙ НА ЭНЕРГИИ
ДИССОЦИАЦИИ C-NO₂, N-NO₂
И O-NO₂ СВЯЗЕЙ**

В. К. ГОЛУБЕВ

Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ
экспериментальной физики, Саров, Россия

Представлены результаты квантово-химических расчетов молекул нескольких нитросоединений с последовательно увеличивающимся количеством нитрогрупп, от одной до максимально возможного количества. Для выяснения влияния количества нитрогрупп на энергию диссоциации C-NO₂ связей рассматривались все нитропроизводные метана, от моонитрометана до тетранитрометана. При рассмотрении всех нитропроизводных этана, наряду с выяснением влияния количества нитрогрупп, определялось также влияние их положения в молекулах-изомерах. Для выяснения влияния количества нитрогрупп на энергию диссоциации N-NO₂ связей рассматривались нитропроизводные аммиака и триметиламина. Сопоставление этих результатов позволило также выявить эффект влияния замещения водорода метильными группами. Для выяснения влияния количества нитрогрупп на энергию диссоциации O-NO₂ связей рассматривались все нитраты метана, от моонитрата до тетранитрата.

Расчеты выполнялись по программе Gaussian 98 с использованием комбинированного функционала B3LYP и ряда базисных наборов электронных функций, от 6-31G(*d*) до 6-311+G(*d*, *p*). Для сопоставления и анализа всех полученных результатов использовались данные, полученные с применением базисного набора 6-31+G(*d*). Полученные с использованием этого базисного набора результаты сопоставлялись с большим объемом данных по энергетике диссоциации нитрогрупп, полученным ранее для молекул различных взрывчатых веществ. В процессе проведенных электронных расчетов оптимизировались геометрии молекул, определялись их электронные структуры и электронные энергии. В процессе частотных расчетов определялись колебательные спектры молекул, энергии нулевых колебаний, тепловые поправки для определения термодинамических характеристик. Энергии диссоциации определялись при нулевой температуре, поэтому кроме электронных энергий учитывались только энергии нулевых колебаний. Наряду со значениями энергии диссоциации определялись значения длин соответствующи-

щих разрываемых связей. Полученные результаты позволили получить зависимости энергии диссоциации для всех рассмотренных типов связей от количества и взаимного расположения нитрогрупп в молекулах рассматриваемых нитросоединений. Эти зависимости могут быть использованы для анализа более крупных молекул, поскольку в рассмотренных малых молекулах были реализованы предельно широкие диапазоны возможной концентрации нитрогрупп.

**INFLUENCE OF QUANTITY
AND POSITION OF NITROGROUPS
IN MOLECULES OF SEVERAL
NITROCOMPOUNDS
ON DISSOCIATION ENERGIES
OF C-NO₂, N-NO₂ AND O-NO₂ BONDS**

V. K. GOLUBEV

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

Results of the quantum-chemical calculations of several nitrocompounds molecules with the sequentially increasing quantity of nitrogroups, from one up to the maximum possible quantity are presented. For finding out the influence of nitrogroups quantity on the dissociation energy of C-NO₂ bonds all the nitroderivatives of methane, from mononitromethane up to tetranitromethane, were examined. At examination of all the nitroderivatives of ethane, the influence of nitrogroups position on the dissociation energy of C-NO₂ bonds was examined for the molecules-isomers together with finding out the influence of nitrogroups quantity. For clearing the influence of nitrogroups quantity on the dissociation energy of N-NO₂ bonds all the nitroderivatives of ammonia and trimethylamin were examined. Comparison of these results has allowed also the effect of substitution of hydrogen with the methyl groups to have been revealed. For clearing the influence of nitrogroups quantity on the dissociation energy of O-NO₂ bonds all the methane nitrates, from mononitrate up to tetranitrate, were examined.

Calculations were performed with the use of the Gaussian 98 program. The combined B3LYP functional was used with the series of basis sets of electronic functions from 6-31G(*d*) up to 6-311+G(*d*, *p*). The data obtained with the use of the 6-31+G(*d*) basic set were used for the comparison and analysis of all obtained results. This data were also compared with a great volume of the data on the ener-

getics of nitrogroups dissociation that was obtained for the molecules of various explosives studied earlier. During electronic calculations the geometries of molecules were optimized, its electronic structures and energies were determined. During frequency calculations the vibration spectrums of molecules, energies of zero oscillations, thermal corrections for determination of thermodynamic characteristics were determined. The dissociation energies were determined at zero temperature, therefore except for electronic energies only the energies of zero oscillations were taken into account. Together with the values of dissociation energy the values of lengths of corresponding breaking bonds were determined. These results allowed the dependences of dissociation energy on the quantity and mutual disposition of nitrogroups in the molecules of examined nitrocompounds to have been obtained. Such dependences can be used for the analysis of larger molecules as the extremely wide ranges of possible concentration of nitrogroups have been realized in the examined small molecules.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ДВУХСТУПЕНЧАТЫХ ВЗРЫВНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ОСКОЛОЧНЫХ ПОТОКОВ

А. Е. Курепин, В. А. Семин, Е. В. Сидорова

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

Метод кумуляции энергии в автомоделной многоступенчатой системе слоев из легкого и тяжелого газов, предложенный Е. И. Забабахиним, был применен для разработки двухступенчатых взрывных генераторов высокоскоростных радиально расходящихся осколочных потоков из готовых или формируемых в процессе метания элементов.

При разработке таких устройств, в отличие от конструкций, использующих плоскую систему слоев, возникает ряд особенностей, вызванных необходимостью сохранения целостности цилиндрической оболочки заряда ВВ первой ступени в момент ее соударения с буферным слоем, размещенным на внутренней поверхности лайнера (оболочки второй ступени).

В докладе приводятся экспериментальные результаты исследования начального этапа процесса взрывного метания сплошных и составных, выполненных из готовых элементов, оболочек ци-

линдрических зарядов ВВ. Показано, что в момент прохождения по составной оболочке ударной волны происходит закрытие имеющихся между элементами конструктивных зазоров. После этого оболочка деформируется как сплошная, вплоть до снижения давления продуктов детонации на ее внутреннюю поверхность до значений, определяемых динамической прочностью материала элементов. При уменьшении динамической прочности радиус распада оболочки на отдельные элементы увеличивается, а при уменьшении толщины оболочки — снижается.

Приведены результаты разработки генераторов, создающих высокоскоростные радиальные потоки из оболочек второй ступени, выполненных из формируемых элементов типа «ударное ядро» (начальная скорость 3,8–4,1 км/с) и из готовых, имеющих компактную форму элементов (начальная скорость 2,4–2,5 км/с).

Полученные результаты могут быть использованы для разработки высокоскоростных метательных устройств взрывного действия, а также для тестирования численных программ при решении прикладных задач механики сплошной среды в газодинамической и упруго-пластической постановке.

Авторы благодарны Ю. И. Тарасову, принявшему активное участие в разработке двухступенчатых генераторов осесимметричных осколочных потоков из формируемых элементов.

DEVELOPMENT PECULIARITIES OF TWO-STAGE AXISYMMETRIC EXPLOSIVE FRAGMENT GENERATORS

A. YE. KUREPIN, V. A. SEMIN, YE. V. SIDOROVA

Federal Unitary State Enterprise
«The State Scientific Research Institute
of Mechanical Engineering», Dzerzhinsk, Russia

The method of energy cumulation in an auto-modelling multistage system of beds made of light and heavy gases offered by Ye. I. Zababakhin has been applied to the development of explosive fragment generators (EFG), creating high-velocity radially diverging flows of fragments, preformed and being formed during the process of propelling from the liner material.

At development of such devices, unlike the designs using a flat system of beds, there occurs a number of peculiarities caused by the necessity of integrity preservation of the cylindrical shell of the first-stage explosive charge at the moment of its collision with the buffer layer placed on the inner liner surface (the second-stage shell).

The report presents the experimental research results of the initial stage of the explosion propelling process of continuous and compound cylindrical explosive charge shells made of preformed elements. It is shown, that at the moment of the shock wave passing the compound shell all the constructive gaps between the elements close. As a result the shell deforms as a continuous one up to the decrease of the detonation products pressure on its internal surface to the value equal to the dynamic strength of the material of the elements. At reduction of the dynamic strength the radius of the shell disintegration into separate elements grows, and at the reduction of the shell thickness it decreases.

The development results of the generators creating high-velocity radial flows of self-forging type elements formed of the liner material (the initial velocity is 3.8–4.1 km/s), as well as of preformed compact elements (the initial velocity is 2.4–2.5 km/s) are presented.

The results of the experiments can be used for the development of high-velocity propelling devices of explosion action as well as for testing numerical programs at solving complex applied problems of continuous medium mechanics in gasdynamic and elastic-plastic statement.

The authors are grateful to Yu. I. Tarasov who has taken an active part in the development of two-stage axisymmetric explosive fragment generators with preformed elements.

ВЛИЯНИЕ НЕСФЕРИЧНОСТИ ДЕФОРМИРУЮЩЕГОСЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНОГО ПУЗЫРЬКА НА ВОЗМОЖНОСТЬ ПУЗЫРЬКОВОЙ ДЕТОНАЦИИ

Д. В. Воронин, В. С. Тесленко

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

Проведено численное и экспериментальное исследование взаимодействия одиночного или группы химически активных пузырьков с волнами сжатия и разрежения длиной L_1 , распространяющимися в трубе диаметром L_0 , заполненной водой. Расчеты проведены по модели нестационарного двумерного осесимметрического движения идеальной сжимаемой химически активной среды на основе законов сохранения массы, импульса и энергии.

Показано, что если амплитуда волны > 100 атм, то при $L_0/d_{\max} < 6$ (d_{\max} – максимальный диаметр пузырька) деформация пузырька несферична (струйная деформация). А если $L_1/d_{\max} > 6,9$, то в набегающей волне сжатия происходит схлопывание пузырька. При этом образуются струи четырех видов, имеющих различную физическую природу:

- 1) кумулятивные водяные струйки;
- 2) выпуклости стенок сжимающегося пузырька вследствие неоднородного распределения полей параметров газа внутри пузырька;
- 3) вытягивание волнами разрежения газовых струй, направленных из пузырька в жидкость;
- 4) сходящиеся кольцевые водяные струи, возникающие вследствие неустойчивости Рэлея – Тейлора межфазной границы.

Дальнейшая фрагментация струй приводит к образованию мелких пузырьков (с диаметром на порядок меньше) в окрестности большого. Эти пузырьки приобретают значительную скорость (до 500 м/с). Пульсации пузырьков мелкой фракции происходят при малых изменениях параметров крупных пузырьков. Сжатие мелкой фракции носит адиабатический характер с образованием локальных областей с повышенными значениями термодинамических параметров (с давлением до 0,8 ГПа и температурой до 10000 К). В результате происходят микровзрывы мелких пузырьков. Если начальный акустический импульс распространяется через группу крупных пузырьков, то их последующая струйная деформация и микровзрывы образовавшейся мелкой фракции способны привести к детонации всей пузырьковой смеси. В работе численно показано, что возможен взрыв одиночного пузырька и при его взаимодействии с сильной волной разрежения. Определены также критические значения параметров потока (начальный размер пузырька и расстояние между ними), при которых возможно распространение самоподдерживающейся волны детонации вдоль цепочки пузырьков.

INFLUENCE OF NON-SPHERICAL DEFORMATION OF CHEMICALLY ACTIVE BUBBLE ON OPPORTUNITY OF BUBBLE DETONATIONS

D. V. VORONIN, V. S. TESLENKO

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics of SB RAS,
Novosibirsk, Russia

Numerical and experimental research of interactions of chemically active bubbles with waves of compression and rarefaction (length L_1), propa-

gating in tube (diameter L_0) filled with water, was carried out. Modeling was performed within the framework of model of non-stationary two-dimensional motion of ideal compressible media on the basis of laws of conservation of mass, pulse and energy in case of axial symmetry.

It was found, that at wave amplitude > 100 bar and $L_0/d_{\max} < 6$ (d_{\max} is maximal bubble diameter) bubble deformation is non-spherical (jet deformation). If $L_1/d_{\max} > 6,9$ bubble collapse occurs in compression wave. Jets of four types with different physical nature are formed:

- 1) cumulative water jets;
- 2) distortion of bubble walls owing to non-uniform flowfield inside the bubble;
- 3) dragging of gas jets from bubble into liquid by rarefaction waves;
- 4) converging ring water jets due to Rayleigh–Taylor instability of interphase border.

Jets fragmentation results in formation of microbubbles (diameter 10 times less than for the initial bubble) in vicinity of big one. These bubbles get significant velocity (up to 500 m/s). Pulsations of microbubbles occur at small changes of large ones parameters. Their compression is adiabatic with formation of local areas with the high values of thermodynamic parameters (pressure up to 0,8 GPa and temperature up to 10000 K). It results in microexplosions of fine bubble fraction. If the initial pulse is propagating through the group of large bubbles, their subsequent jet deformation and microexplosions of are capable to result in a detonation of all volume. It is numerically found, that explosion of single bubble is possible at its interaction with a rarefaction wave. Critical values of a flow parameters (the initial bubble size and distance between them) at which propagation of detonation wave along a bubble chain is possible, are determined also.

О МЕТАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ СМЕСЕЙ ВВ С АКТИВИРОВАННЫМИ И УЛЬТРАДИСПЕРСНЫМИ ПОРОШКАМИ АЛЮМИНИЯ

В. Ю. ДАВЫДОВ¹, М. А. СТРИЖЕНОК²,
В. Г. ШЕВЧЕНКО³

¹Научно-исследовательский машиностроительный институт, Москва, Россия.

²Российский федеральный ядерный центр — ВНИИ технической физики им. акад. Е. И. Забабахина, Снежинск, Россия

³Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Настоящее сообщение было инициировано докладом Д. В. Мильченко на VII Харитоновских научных чтениях в 2005 г. в котором ставится вопрос о необходимости изучения путей активации Al в условиях взрывного превращения. Действительно, исследования метательной способности (МС) смесей ВВ с порошками и пудрами Al, проведенные по методикам М-40 и Т-20 показали, что полученный прирост МС гораздо ниже результатов, полученных в калориметрической бомбе. Естественно предположить, что это связано с низкой скоростью окисления Al.

В качестве компонентов ВВ исследовали: интерметаллиды AlSc, AlY, Al₂Y, Al₂Sm а также сплавы с добавками 1% Eu, 0,02% La. Изучали также сплавы Al с добавками 0,01...0,5% Ga, Sn, сплава Вуда и 4%Zn, синтезированные ВАМИ, г. С.-Петербург. Полагая, что основным препятствием для воспламенения частиц Al является их окисная пленка, исследовали также порошки, полученные в ИНХ Латв. АН, у которых оксид был замещен на покрытие из нитро- и динитрофталата меди. Все порошки по данным термогравиметрических (ТГ) исследований обладали значительно более высокой скоростью окисления, чем АСД-4. Материалы вводили в термопластичные составы на основе октогена из растворителя в количестве 15 и 20% и сравнивали с аналогичными композициями, содержащими АСД-4. Метательную способность полученных композиций определяли по методике М-40.

Большинство исследованных порошков не имели преимущества или уступали промышленному порошку АСД-4. Отмечается прирост МС на 2–2,5% для порошка, легированного Ga и ~3,5% для AlSc при избыточном (20%) содержании добавки во взрывчатой композиции. Отметим, что оба результата связаны с явлением дополнительного измельчения частиц порошков при ударноволновом нагружении.

Для экспериментов использовали ультрадисперсный алюминий (УДА), полученный методом взрывающихся проводников (УДА1) и плазмохимическим методом (УДА2). Смеси 15% УДА с ВВ готовили методом сухого смешения. УДА1 не показал преимущества по сравнению с АСД-4 как в смесях с флегматизированным октогеном (ФО) так и в смесях с ВВ-окислителем: БТНЭНА. Значения МС для УДА1 точно легли на соответствующие прямые МС(ρ) для смесей этих ВВ с АСД-4. В то же время, смеси УДА-2 с ФО имеют на 2% большую МС, чем смеси с АСД-4. Этот результат также свидетельствует о преобладающей роли удельной поверхности при окислении Al в детонационных волнах (ДВ). Предложена модель поведения частиц Al в ДВ, позволяющая объяснить полученные результаты.

ON METAL ACCELERATION ABILITY BY MIXTURES OF EXPLOSIVES WITH ACTIVATED AND ULTRADISPERSED ALUMINIUM POWDERS

V. YU. DAVIDOV¹, M. A. STRIZHENOK²,
V. G. SHEVCHENKO³

¹Mecanical Engineering Research Institute,
Moscow, Russia

²Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin
All-Russia Research Institute of Technical Physics,
Snezhinsk, Russia

³Chemistry Of Solid State Institute UrO RAS,
Yekaterinburg, Russia

This paper was initiated by report of D. V. Milchenko on International Conference VII Khariton's Topical Scientific Readings where the problem of Al activation in explosion processes was arisen. Really, metal acceleration ability (MAA) investigations of explosives, containing Al powders, made by M-40 and T-20 methods showed the increasing of MAA much less, than in calorimeter bomb. It is naturally to suggest, that this phenomenon is connected with low velocity of Al oxidation.

As a components of explosives were explored: AlSc, AlY, Al₂Y, Al₂Sm and alloys with 1% Eu, 0,02% La. Were investigated also the Al powders with additives of 0,01...0,5% Ga, Sn, Wood's alloy and 4% Zn, synthesized in VAMI, St.Petersburg. Assuming that the main obstacle to Al ignition is its oxide film, we investigated also powders, received in INC of Latvian AS, which oxides were replaced by coating from copper nitro- and dinitro-phthalate. All powders, according to thermogravimetric measurements, had significantly higher oxidation

rates, than ASD-4. The materials were induced in plastic bonded HMX from solvent in amount 15 and 20% and were compared to analogous compositions, containing ASD-4. MAA of the compositions received were measured by M-40 method.

Most powders investigated had no advantage or lost to industrial powder ASD-4. It can be noted the 2–2,5% growth of MAA for powder, activated by Ga and ~3,5% for AlSc powder, induced in access (20%) amount. One can notice, that both results connected with phenomenon of additional powder particles dispersing by shock wave load.

For experiments we used ultra dispersed Al (UDA), produced by exploding conductors method (UDA1) and by plasmochemical method (UDA2). 15% UDA with explosives were mechanically mixed. UDA1 had no advantages to ASD-4 as in mixture with phlegmatized HMX (FH) so in mixture with explosive-oxidize BTNENA. Points, corresponding to UDA laid exact on the lines MAA(ρ) for this explosives. From other side, mixture UDA2 with FH had 2% higher MAA, than mixture with ASD-4. This result also supports the prevailing role of powders specific surface for Al oxidizing in detonation wave (DW). The results are explained by model for behavior of Al particles in DW.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРПУСА ВЗРЫВНОЙ КАМЕРЫ

П. А. НИКОЛАЕНКО

Алтайский государственный технический
университет, Барнаул, Россия

В докладе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований макета взрывной камеры, представляющего собой цилиндр диаметром 2 м с эллиптическими днищами (по форме близкой к сферической) и боковой загрузкой, при подрыве в ней зарядов взрывчатого вещества. А также анализ полученных результатов.

ВОЛНА ГОРЕНИЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ГИБРИДНОЙ DD МИШЕНИ

А. Г. АКСЕНОВ, Д. Г. КОШКАРЕВ,
М. Д. ЧУРАЗОВ, Б. Ю. ШАРКОВ

Институт теоретической и экспериментальной
физики, Москва, Россия

Первоначально цилиндрические мишени для тяжелоионного инерциального синтеза рассматривались для DT топлива. Достаточный коэффициент усиления 100 можно получить после сжатия мишени вращающимся пучком (10 МДж/см) до достижения в топливе плотности 100 г/см^3 и параметра $\rho r = 0,5 \text{ г/см}^3$, последующим зажиганием интенсивным пучком 10^{16} Вт/г , и распространением волны горения по сжатому топливу. Для создания поджигающего пучка можно использовать ионы разного знака, специально подобранных изотопов с близкой массой. Кошкарёв, Шарков (2002) впервые рассмотрели ядерное деление в инерциальном удержании. Для гибридной DT мишени эффект от облучения оболочки U238 быстрыми нейтронами умеренный. Исследования DD мишеней показали, что для распространения волны горения требуется в 300 раз большая энергия на сжатие, DT таблетка для зажигания и такой же поджигающий пучок, как в случае DT топлива. Топливо DD мишени непрозрачно для фотонов, а оболочка мишени частично поглощает быстрые нейтроны.

Поэтому для DD топлива естественна гибридная мишень с оболочкой из U238. В частности, волна горения в DD мишени с пассивной оболочкой существует при параметре $\rho r = 10 \text{ г/см}^2$ и плотности топлива $\rho = 100 \text{ г/см}^3$, обеспечивая коэффициент усиления на уровне 10. Введение делящейся оболочки позволяет сжигать топливо при $\rho r = 4 \text{ г/см}^2$ (энергии сжатия меньше в 6 раз) с коэффициентом усиления 40. Основной вклад в энерговыделение обеспечивает реакция деления, в то время как реакция синтеза поставляет быстрые нейтроны. Если воспламенение топлива в мишени возможно при сжатии, то гибридная мишень может оказаться интереснее DT мишени с быстрым поджигом. Ультрарелятивистский драйвер с энергией несколько сотен МДж сделать проще интенсивного поджигающего пучка. Цель данной работы — определение минимального параметра ρr в гибридной DD мишени. Также целью исследований является разработка многомерного гидродинамического кода. Перенос частиц описывается в рамках уравнений диффузии с ограничениями потоков. Это позволяет получить все интересующие характеристики любых мишеней. Возможно также моделирование обычных мишеней, которые интересны для исследо-

вания уравнений состояния различных веществ. Эксперименты на ускорителе будут возможны после получения энергии пучка 10–100 кДж.

THE BURNING WAVE IN THE CYLINDRICAL HYBRID DD TARGET

A. G. AKSENOV, D. G. KOSHKAREV,
M. D. CHURAZOV, B. YU. SHARKOV

Institute for Theoretical and Experimental Physics,
Moscow, Russia

Initially the cylindrical targets for the heavy ions inertial fusion was considered for DT fuel. The high enough gain 100 can be achieved after the initial compression by the rotating beam with the energy deposition 10 MJ/cm till the fuel's density 100 g/cm^3 and the parameter $\rho r = 0.5 \text{ g/cm}^3$, the subsequent ignition of the fuel by the power beam 10^{16} W/g , and the burning wave propagation along the compressed fuel. It is possible to use specially selected ions with different charges and close masses to construct power fast ignition driver. Koshkarev and Sharkov (2002) proposed to use the fission in the inertial confinement. For the hybrid DT target the effect from the irradiation of the U238 shell by fast neutrons is not considerable. In the case of the DD target we need 300 times more compression energy, the DT tablet and the same ignition beam as for DT fuel. The fuel in such DD target is nontransparent for the photons, while its shell absorbs the part of neutrons.

So for the DD fuel it is interesting to consider the hybrid target with the U238 shell. In particular, the burning wave in the case of the passive shell exists at $\rho r = 10 \text{ g/cm}^2$ and $\rho = 100$ with the gain coefficient 10. The active U238 shell allows to burn the DD fuel at $\rho r = 4$ (the compression energy is 6 times less) with the gain coefficient 40. If the burning can be achieved during the compression, such hybrid target can be more preferable than the pure DT target with the fast ignition. An ultra relativistic driver with such energy is simpler than the fast ignition beam. The first purpose of the presented report is the definition of the minimal parameter ρr in the hybrid DD target. Second task is the developing of multi dimensional hydrodynamical code. Particle's transports are considered in the frame of diffusion equations with fluxes limiters. This simplification allows us to receive all characteristics for any targets. Also, we can simulate usual targets to study the equation of state for different patterns. The experiments in the accelerator will be possible at the achieving of the heavy ion beam's energy 10–100 kJ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРЕГРАД ОТ БРИЗАНТНОГО ДЕЙСТВИЯ КОНТАКТНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

В. И. Мали, А. В. Ильиных

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

Существующие оценки с помощью метода (P, u) диаграмм и более сложные расчеты дают противоречивые результаты и не позволяют надежно оценить защитные свойства пористых композиционных преград от действия взрывчатых веществ (ВВ). Нами исследованы защитные свойства преград, состоящих из тонких стальных прямоугольных сотовых конструкций, заполненных сухим песком, от действия контактных зарядов аммонита № 6ЖВ и насыпного гексогена. Сравнительные испытания бризантного действия зарядов ВВ проводились по модифицированной схеме Гесса с использованием свинцовых цилиндров, на поверхности которых размещали в различной последовательности испытываемые преграды толщиной 20 мм. и стандартная стальная пластина толщиной 10 мм. Проведены две серии испытаний бризантного действия зарядов аммонита и гексогена с массами 50 и 25 грамм, соответственно. Обнаружено, что взрывное уплотнение песка сопровождалось волнообразной деформацией тонких стальных перегородок. Обнаружены различия защитных свойств от состава, места расположения преграды и от вида ВВ. Найдено расположение композиционной преграды, при котором бризантное действие ВВ уменьшалось больше, чем при использовании монолитной стальной преграды равной толщины.

EXPERIMENTAL STUDY OF PROTECTIVE PROPERTIES OF COMPOSITE POROUS TARGETS AGAINST THE BLASTING EFFECT OF CONTACT HIGH EXPLOSIVES

V. I. MALI, A. V. IL'INYKH

Lavrentyev Institute of Hydrodynamics,
Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, Russia

Currently available estimates by the method of (P, u) diagrams and more complicated calculations yield contradictory results and do not allow reliable evaluation of protective properties of porous

and composite targets against the action of high explosives (HE). We examined protective properties of targets consisting of thin rectangular honeycomb structures made of steel and filled by dry sand against the action of contact charges of ammonite and bulk RDX. Comparative tests of the blasting action of HE charges were performed in accordance with a modified Hess' scheme, which involved steel cylinders with tested targets 20 mm thick and a standard steel plate 10 mm thick mounted on the surface of these cylinders in different sequences. Two test series were performed to study the blasting action of ammonite and RDX charges of 50 and 25 g, respectively. Explosive compaction of sand was found to be accompanied by wavy deformation of thin steel partitions. Differences in protective properties were observed, depending on the place where the target was located and on the HE type. A location for a composite target was found, where this target reduced the blasting effect of the HE more significantly than a monolithic steel target of identical thickness.