



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ТОНКИХ ПРЕГРАД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕТИКИ РАЗЛОЖЕНИЯ ВВ ВБЛИЗИ ФРОНТА ДЕТОНАЦИИ

В.И.Таржанов, А.В.Воробьёв, А.Н.Еськов,

Д.П.Кучко, М.А.Ральников, Р.В.Комаров

г. Снежинск - 2019

### Введение



Ударные адиабаты нереагирующих ВВ получены для низких давлений (*p* ≤ 16 ГПа).

Зарегистрированы параметры мощных и промышленных ВВ на пике Неймана (*p* ≈ 40 ГПа), которые трактуются как точки ударной адиабаты нереагирующего ВВ.

Вопрос – в течение какого времени остаётся ВВ нереагирующим, остаётся ли оно нереагирующим при нагружении выше пика Неймана?



Предложен экспериментальный метод, позволяющий установить возможность разложения ВВ за фронтом детонации вблизи него – метод тонких преград с лазерно-интерферометрической диагностикой.

Применение лазерно-интерферометрической диагностики открывает новые возможности метода.

### Эксперимент





 1 – электродетонатор; 2 – розетка; 3 – центратор; 4 – линзовый заряд; 5 – шашка ТГ55 Ø120х10 мм; 6 – исследуемое ВВ Ø120х40...60 мм; 7 – держатель феррул; 8 – прижим; 9 – окно (LiF); 10 – измерительный узел; 11 – феррулы ЛГМ; 12 – «совмещённая» головка; 13 – фольги; 14 – кольца.

### Регистрограммы





#### Типичный вид спектрограмм ЛГМ:

а — регистрация ускорения Ni-фольги толщиной 0,09 мм; б — регистрация профиля детонационной волны с химпиком через окно из LiF.

### Результаты





Профили ускорения фольг из AI разной толщины в трёх экспериментах (а);

t, x – диаграмма волновых циркуляций в фольге (б)



Регистрируемые скорости свободной поверхности фольг из AI, Cu и Ni на первом скачке –  $W_1$  (a), втором скачке –  $W_2$  (б) и третьем скачке –  $W_3$  (в) в зависимости от их толщины.

Ударные волны, входящие в фольгу, затухают при прохождении по её толщине, поэтому использование значений  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  для установления состояний в BB, возникающих сразу после распада разрывов на границе «BB-материал фольги», некорректно. Необходимо использовать значения  $W_{01}$ ,  $W_{02}$  и  $W_{03}$  фольги нулевой толщины, получаемые экстраполяцией зависимостей  $W_i(d)$  до пересечения с осью ординат.

Фактически это - метод виртуального зондирования состояний ВВ вблизи детонационного фронта за предельно короткое время, близкое к нулю.

### Результаты



Вычисленные значения  $W_{01}$ ,  $W_{02}$ ,  $W_{03}$ , а также соответствующие им значения массовых скоростей  $u_{01}$ ,  $u_{02}$ ,  $u_{03}$  и давлений  $P_{01}$ ,  $P_{02}$ ,  $P_{03}$ 

Материал фольги	₩ <sub>01</sub> , км/с	₩ <sub>02</sub> , км/с	<i>W</i> <sub>03</sub> , км/с	<i>U</i> <sub>01</sub> , км/с	<i>U</i> <sub>02</sub> , км/с	<i>U</i> <sub>03</sub> , км/с	Р <sub>01</sub> , ГПа	Р <sub>02</sub> , ГПа	Р <sub>03</sub> , ГПа
AI	4,07	4,97	5,33	2,035	4,52	5,15	44,7	7,41	2,73
Cu	2,42	3,50	4,16	1,21	2,96	3,83	62,1	23,0	13,0
Ni	2,26	3,14	3,92	1,13	2,70	3,53	63,2	20,2	17,4

# Нахождение состояний в ВВ на ударной адиабате повторного сжатия



*P, и* –диаграмма состояний в материалах фольг, LiF и исследуемом BB, реализующихся при волновых взаимодействиях

По значениям *W*<sub>01</sub> для AI, Cu, Ni находятся состояния 11, 12, 13. Они являются одновременно состояниями ПТАТБ после отражения детонационного фронта от преграды.

РФЯЦ-ВНИИТФ

Следовательно, точки 10, 11, 12 и 13 это – точки ударной адиабаты повторного нагружения BB исследуемого И3 состояния В химпике. Зеркальное обращение точек показывает более пологое положение адиабаты повторного сжатия.



### Разгрузка повторно сжатого ВВ



Построены кривые разгрузки, аппроксимирующие <sup>1</sup> экспериментальные данные. Кривые разгрузки лежат выше равновесной кривой торможения ПВ с расположенной на ней точкой Жуге.

По парам значений  $W_{01}$  и  $W_{02}$ для всех материалов фольг находились состояния 14, 15 16 С использованием И ударных адиабат материалов фольг. Состояния 17, 18 и 19 находились по парам *W*<sub>01</sub> и *W*<sub>02</sub>. Состояния 14 – 16, и состояния 17 – 19 являются одновременно состояниями ПТАТБ соответственно после однократной и двукратной разгрузки И3 состояний повторного нагружения 11 - 13.

### Профили детонационных волн в ВВ. Химпик (пик Неймана)



7 профилей детонационной волны в ПТАТБ на границе с окном из LiF в двух экспериментах

4 профиля детонационной волны на границе с Al-фольгой, контактирующей с окном из LiF

Средняя максимальная скорость для всех профилей 3 экспериментов – 2,084 км/с. Давление в LiF, соответствующее этой массовой скорости – 43,8 ГПа. Данное состояние в LiF (точка 10 на рисунке) является одновременно состоянием в ПТАТБ, реализующимся при повторном нагружении его на LiF из состояния в химпике.

РФЯЦ-ВНИИТФ

### Обсуждение - кривая торможения химпика рояц-вниито



Часть *P, u* – диаграммы состояний в фольгах, LiF и BB

Имеется разброс данных по адиабатам составов на ТАТБ (кривые 1,2) и состояниям в химпике (точки 6-9).

Получены 4 точки для ударной адиабаты повторного сжатия ПТАТБ из состояния в химпике. Аппроксимирующая эксперимент кривая 5 построена. По аналогии с известной кривой торможения ПВ, проходящей через точку Жуге ВВ, названную адиабату повторного сжатия можно назвать кривой торможения химпика, если дополнить её данными в нижней области давлений. Полученных 4х точек мало, чтобы экстраполировать кривую до пересечения с ударной адиабатой «нереагирующего» ВВ. Кроме того, на сегодня такой нет достоверно установленной адиабаты.



Физический вопрос — что ускоряет фольги после выхода на них детонационного фронта — продукты взрыва (ПВ) или ещё непрореагировавшее «инертное» BB, существующее на ширине химпика?

Используемые фольги тонкие, и время одной-двух циркуляций волн по ним может быть меньше длительности зоны разложения исследуемого ПТАТБ. Можно полагать, что за время первой волновой циркуляции (от 10 до 100 нс) ВВ не успевает значимо разложиться. А мы ещё экстраполируем данные  $W_i(d)$  к нулевой толщине фольг, т.е. к предельно малым временам. Отсюда следствие – **ВВ должно оставаться твёрдым, как за ударным фронтом повторного** нагружения вблизи него, так и при «моментальной» разгрузке.

Так, «инертное» ВВ или ПВ? В первом случае кривая разгрузки должна быть близка к зеркальному отображению ударной адиабаты нереагирующего ПТАТБ. Во втором случае она могла бы идти эквидистантно известной кривой торможения. К сожалению, при имеющемся количестве экспериментов выделить один из вариантов не возможно.

Отметим – кривые разгрузки не могут слиться с кривой торможения в ходе последующих волновых циркуляций по фольгам, поскольку избыток энергии, приобретённый веществом в ходе повторного нагружения, остаётся в нём и при разгрузке.

### Заключение



- Предложен экспериментальный метод, позволяющий установить возможность разложения ВВ непосредственно за фронтом детонации – метод тонких преград с лазерно-интерферометрической диагностикой. Фактически это - метод виртуального зондирования состояний ВВ за детонационным фронтом вблизи него за предельно короткое время.
- Получены 4 экспериментальные точки для ударной адиабаты повторного сжатия ПТАТБ из состояния в химпике. Аппроксимирующая эксперимент кривая может быть названа кривой торможения химпика.
- Получены 6 экспериментальных точек, соответствующих состояниям ПТАТБ после однократной и двукратной быстрой разгрузки из состояний повторного нагружения. Построены аппроксимирующие эксперимент кривые разгрузки, лежащие выше равновесной кривой торможения ПВ.
- Утвеждается, что **ВВ должно оставаться твёрдым, как за ударным фронтом** повторного нагружения вблизи него, так и при «моментальной» разгрузке.
- В целом, новые результаты, полученные в диапазоне времён, меньших 10...300 нс, демонстрируют перспективность исследования состояний ВВ в зоне химпика предложенным методом.

### Литература



- 1. LASL Explosive Property Data / Eds. T.R. Gibbs, F. Popolato.–University of California Press.: Berkeley Los Angeles London, 1980.
- 2. Dick J.J., Forest C.A., Ramsay J.B., Seitz W.L. The Hugoniot and Shock Sensitivity of a Plastic-Bonded TATB Explosive PBX 9502 // J. Appl. Phys. 1988. 63.
- 3. Sheffield S.A., Bloomquist D.D., Tarver C.M. Subnanosecond Measurements of Detonation Fronts in Solid High Explosives // J. Chem. Phys. 1984. 80 (8).
- 4. Шорохов Е.В., Литвинов Б.В. Ударная сжимаемость взрывчатых композиций на основе ТАТБ в диапазоне давлений от 0,1 до 40 ГПа // Химическая физика. 1993. т. 12. №5. с. 722-723.
- 5. Lubyatinsky S.N., Loboiko B.G. Detonation Reaction Zones of Solid Explosives // Proc. of 12<sup>th</sup> Symp. on Detonation.: Snowmass. Colorado. USA. 1998.
- 6. Фёдоров А.В., Михайлов А.Л., Антонюк Л.Л., Назаров Д.В., Финюшин С.А. Определение параметров детонационных волн в монокристаллах тэна и октогена // Физика горения и взрыва. 2011. т. 47, №5.
- 7. Фёдоров А.В. Параметры пика Неймана и структура фронта детонационной волны конденсированных взрывчатых веществ // Химическая физика. 2005. т.24, №10. с.13-21.
- 8. Фёдоров А.В., Михайлов А.Л., Антонюк Л.Л., Назаров Д.В., Финюшин С.А. Определение параметров зоны химической реакции, состояний пика Неймана и Чепмена-Жуге в гомогенных и гетерогенных ВВ. // Сб. тезисов XII Международной конференции ЗНЧ. 02-06 июня 2014 г. Снежинск.
- 9. Колесников С.А., Уткин А.В., Мочалова В.М., Анантин А.В. Режимы стационарной детонации в прессованном TNETB // ФГВ. 2007. т.43, №6.
- 10.Козлов Е.А., Таржанов В.И., Теличко И.В., Воробьёв А.В., Левак К.В., Маткин В.А., Павленко А.В., Малюгина С.Н., Дулов А.В. Структура зоны реакции детонирующего мелкозернистого ТАТБ // Труды SWCM-2012. Киев. с. 58-60, 2012.
- 11. Козлов Е.А., Таржанов В.И., Теличко И.В., Воробьёв А.В., Левак К.В., Павленко А.В. И др. Структура зоны реакции ТАТБ при нормальной и пересжатой детонации // Международная конференция XV Харитоновские тематические научные чтения. 18 марта 22 марта 2013 г., г. Саров.
- 12. Duff R.E., Houston E.F. Measurement of the Chapmen-Jouget Pressure and Reaction Zone Length in a Detonating High Explosive // J. Chem. Phys. 1965. 23.
- 13. Дремин А.Н., Похил П.Ф. Журнал физической химии. 1961. 34 (11). 2561.
- 14. Зельдович Я.Б., Компанеец. Теория детонации. М.: 1955. 268с.
- 15. Козлов Е.А., Таржанов В.И., Теличко И.В., Панкратов Д.Г., Кучко Д.П. и др. О совмещении методик оптического рычага и лазерно-гетеродинной для изучения динамических свойств конструкционных материалов // Тезисы XII Международной конференции ЗНЧ. 02-06 июня 2014 г. Снежинск.
- 16.Strand O.T., Goosman D.R., Martinez C., Whitworth T.L., Kuhlow W.W. A Novel System for High-Speed Velocimetry Using Heterodyne Techniques // Rev. Sci. Instrum. 2006. 77. 083108.
- 17. Аминов Ю.А., Горшков М.М., Заикин В.Т., Коваленко Г.В., Никитенко Ю.Р., Рыкованов Г.Н. Исследование торможения продуктов детонации взрывчатого вещества на основе ТАТБ // Физика горения и взрыва. 2002. т.38, №2. с 121-124.
- 18. Экспериментальные данные по ударно-волновому сжатию и адиабатическому расширению конденсированных веществ / Под ред. Р.Ф. Трунина. Саров: РФЯЦ ВНИИЭФ, 2006. 531с.



## Спасибо за внимание!

