

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ДЕТОНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ВВ-ТТ ПО АНАЛИЗУ СНИМКОВ МИКРОСТРУКТУРЫ

Л. И. Липенкова¹, М. Ю. Батьков, Д. В. Мильченко, А. И. Пятойкина

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

¹СарФТИ НИЯУ МИФИ, г. Саров Нижегородской обл

Известно, что физико-химические свойства твердых веществ в определенной степени зависят от их микроструктуры. На практике одни свойства материалов являются относительно-чувствительными, а другие – относительно-нечувствительными. В частности, для взрывчатых веществ (ВВ) к относительно-нечувствительным свойствам относится скорость детонации, к относительно-чувствительным – критические параметры детонации. Известны случаи, когда показатели критического диаметра $d_{кр}$ сильно различаются для ряда образцов ВВ одинаковой химической природы, но различной структуры. Например, в зависимости от технологии получения зарядов из ТНТ величины критического диаметра их детонации могут меняться более чем на порядок, с ~ 2 до > 38 мм [1]. В этом, как и в других подобных случаях, прослеживаются корреляции между количеством дефектов в кристаллической структуре ВВ (пор, межзеренных границ и т. д.) и величиной $d_{кр}$ – чем больше структурных дефектов, тем меньше критический диаметр.

Хорошо известно также, что детонационная способность индивидуальных ВВ заметно зависит от дисперсности частиц – чем меньше частицы ВВ, тем выше их детонационная способность [2]. Однако, для простейших высоконаполненных взрывчатых составов (ВС) (наполнитель ~ 80 % по массе, остальное пластификатор) повышение детонационной способности наблюдается при уменьшении размера частиц лишь до определенного уровня, после чего, при прочих равных условиях, детонационная способность снижается [3].

Возникает вопрос, можно ли, исходя из параметров микроструктуры, оценить детонационную способность ВВ. Поскольку микроструктурный анализ требует значительно меньшего количества вещества и времени на эксперимент, чем газодинамические испытания для определения детонационной способности, такая возможность была бы практически весьма полезной.

Существуют различные способы повышения детонационной способности ВС, один из которых связан с повышением дефектности частиц наполнителя. Наиболее перспективным путем повышения дефектности частиц наполнителя, с точки зрения достижения целевых свойств и разработки промышленной технологии,

является термовакуумная перекристаллизация ВВ [4, 5], осуществляемая путем возгонки ВВ при нагревании в вакууме с последующим осаждением на подложку. Такая технология позволяет получать ВВ и взрывную смесь (ВС), на их основе, с высоким уровнем детонационной способности, недостижимым для стандартной технологии перекристаллизации ВВ из растворителя [6].

Результаты последних исследований в этом направлении показали, что в зависимости от микроструктуры детонационная способность гексогена, перекристаллизованного по термовакуумной технологии (гексогена-ТТ) и ВС, на его основе, различаются. Это обстоятельство показывает, что для обеспечения стабильности и оценки свойств ВВ-ТТ необходима разработка способа контроля микроструктуры ВВ-ТТ и установление зависимости между микроструктурой и детонационной способностью ВВ-ТТ.

Анализ доступных методов контроля свойств ВВ показал, что наибольшей перспективой для решения поставленной задачи, в первую очередь, с точки зрения практической реализации, обладает способ расчета удельной длины границ раздела кристаллов ВВ по снимкам микроструктуры, получаемым с помощью электронного микроскопа.

Целью настоящей работы является разработка способа расчета удельной длины границ раздела кристаллов гексогена-ТТ и установление количественной зависимости между особенностями микроструктуры и детонационной способностью гексогена-ТТ.

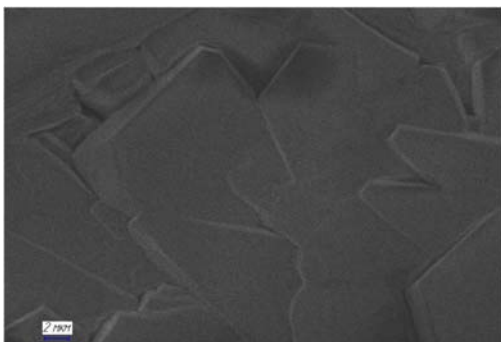
Схема проведения измерений

Для проведения исследований с использованием имеющихся в ИФВ термовакуумных установок методом возгонки и осаждения ВВ были изготовлены образцы гексогена-ТТ по трем различным технологическим режимам, отличающимся конструкцией испарителя и условиями проведения процесса. Полученные образцы пронумерованы, как это показано на рис. 1.

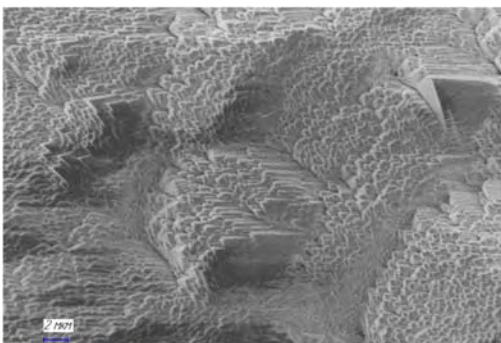
Микроструктуру изготовленных образцов, не удаляя ВВ с подложки, контролировали с помощью растрового электронного микроскопа с возможностью увеличения до 100 000 раз.



а



б



в

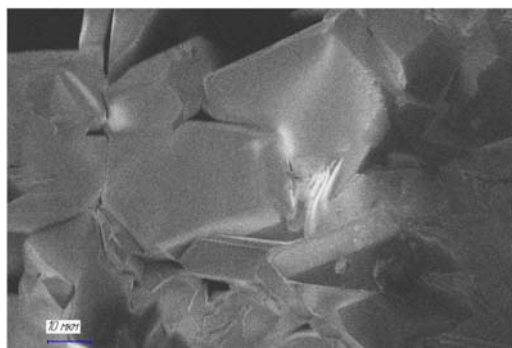
Рис. 1. Фотографии микроструктуры образцов:
а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

Для получения более наглядного расположения границ раздела кристаллов ВВ полученные изображения были подвергнуты обработке. На первом шаге проведена цветовая коррекция с помощью графического редактора Adobe Photoshop CS4. Целью коррекции было улучшение качества изображений (экспозиция, контрастность, подбор цветового тона, улучшение четкости и резкости). Корректировка проводилась субъективно. На рис. 2 показан пример корректировки изображений.

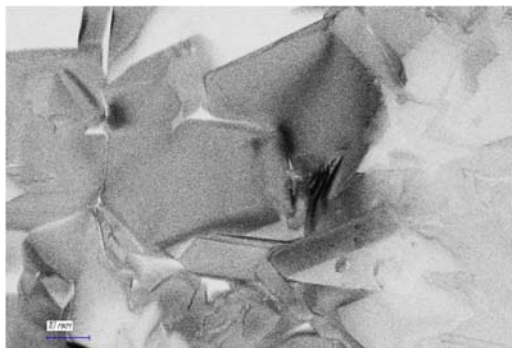
После корректировки изображение импортировалось в систему трехмерного моделирования Компас-3D V15, позволяющую проводить геометрические измерения объекта.

Обработку изображений в системе Компас-3D проводили в следующем порядке:

- выделяли область измерений (функции «прямоугольник», «окружность»);



а



б

Рис. 2. Пример корректировки изображений: а – исходное изображение; б – после коррекции

- измеряли площадь выделенной области (функция «площадь»);
- обводили все видимые границы раздела кристаллов ВВ (функция «ломанная кривая»);
- измеряли длину кривых (функция «длина кривой»).

На рис. 3 показан пример выделенных областей с обведенными границами кристаллов.

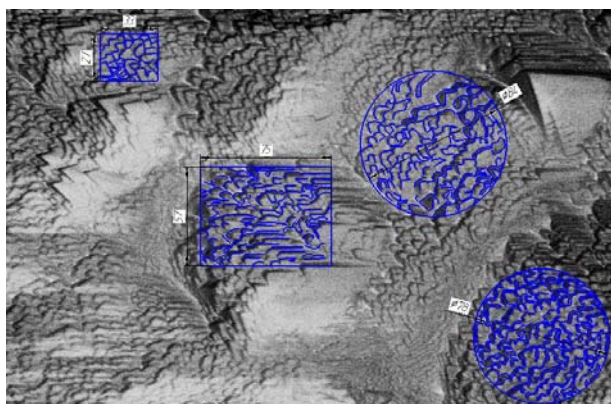


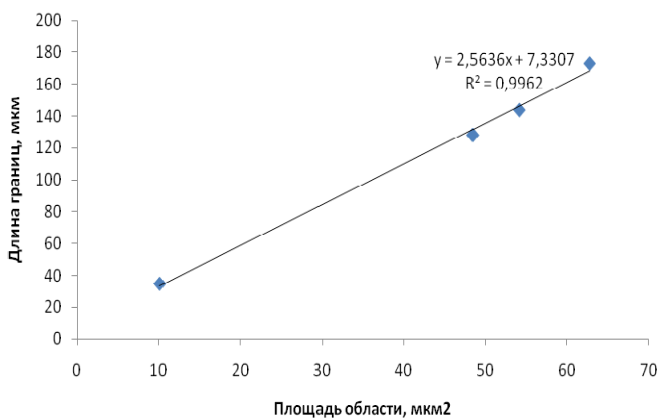
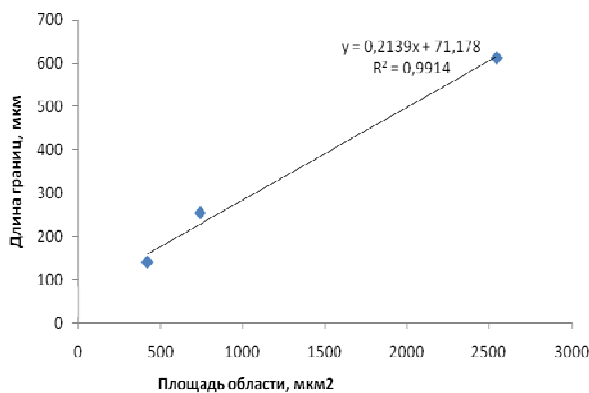
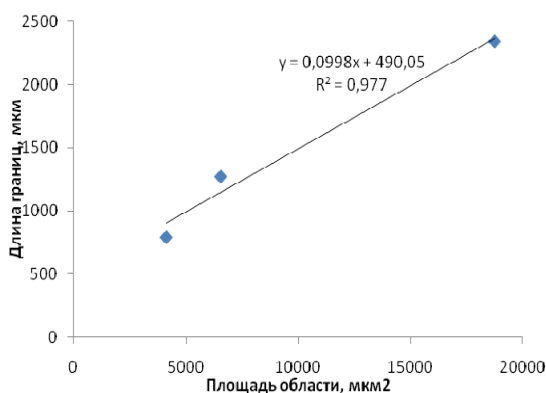
Рис. 3. Пример выделенных областей

После проведения измерений, полученные данные о площади выделенной области и длине границ раздела кристаллов ВВ обрабатывали в программе Microsoft Excel. На рис. 4 показаны графики зависимости длины границ раздела от площади исследуемой области для каждого из исследуемых образцов.

Из рис. 4 видно, что для каждого образца имеет место линейная зависимость между длиной границ раздела кристаллов ВВ и площадью поверхности. Это означает, что имеет место относительное равномерное распределение границ раздела по всей исследованной подобласти подложки. То есть для оценки характеристик микроструктуры образцов можно использовать относительно ограниченный участок по-

верхности напыленного ВВ. В табл. 1 показаны результаты измерений.

Из табл. 1 видно, что среднее значение удельной длины границ раздела кристаллов ВВ для исследованных образцов различается. Для образца № 3 отмечается наибольшее среднее значение удельной длины границ раздела кристаллов ВВ, превышающее остальные образцы на порядок.



в

Рис. 4. Зависимость длины границ раздела от площади исследуемой области: а – образец № 1; б – образец № 2; в – образец № 3

Таблица 1

Результаты измерений

Номер образца	Номер измерения	Площадь области S, мкм ²	Длина границ L, мкм	Удельная длина границ раздела, мкм/мкм ²	Среднее значение удельной длины границ раздела, мкм/мкм ²
1	1	4122,48	793,63	0,19	0,17
	2	6549,12	1273,34	0,19	
	3	18752,65	2340,74	0,12	
2	4	421,41	140,66	0,33	0,31
	5	742,24	254,32	0,34	
	6	2543,52	611,64	0,24	
3	7	48,48	128,12	2,64	2,87
	8	62,85	173,06	2,75	
	9	54,19	143,81	2,65	
	10	10,11	34,59	3,42	

Связь детонационных характеристик с микроструктурой

Для установления зависимости между удельной длиной границ раздела кристаллов ВВ и детонационной способностью гексогена-ТТ использовали данные о детонационной способности гексогена-ТТ, полученного с использованием имеющихся различных технологических режимов, и пластичного ВС на его основе. В табл. 2 показана зависимость детонационной способности гексогена-ТТ от среднего значения удельной длины границ раздела кристаллов ВВ.

Таблица 2

Зависимость детонационной способности гексогена-ТТ от среднего значения удельной длины границ раздела кристаллов ВВ

№ образца	Среднее значение удельной длины границ раздела, мкм/мкм ²	Критическая толщина детонации гексогена-ТТ, мм	Критическая толщина детонации ВС на гексогене-ТТ, мм
1	0,17	0,3	1,5
3	2,87	0,1	0,27

На рис. 5 данные табл. 2 представлены в виде зависимости детонационной способности гексогена-ТТ и ВС на его основе от среднего значения удельной длины границ раздела кристаллов ВВ.

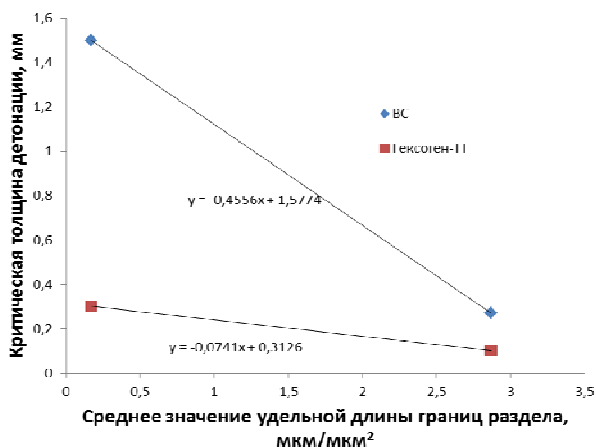


Рис. 5. Зависимость детонационной способности гексогена-ТТ и ВС на его основе от среднего значения удельной длины границ раздела кристаллов ВВ

Из рис. 5 видно, что с увеличением среднего значения удельной длины границ раздела кристаллов ВВ критическая толщина гексогена-ТТ и ВС

на его основе уменьшается, т. е. детонационная способность повышается.

В результате проведенной работы определена удельная длина границ раздела гексогена-ТТ образцов № 1–3. Установлено, что указанная характеристика зависит от технологических режимов, с помощью которых получены образцы гексогена-ТТ. Отметим, что с увеличением удельной длины границ раздела детонационная способность как монослоев гексогена-ТТ, так и пластичного ВС на его основе улучшается.

Полученные данные свидетельствуют о наличии количественной зависимости между удельной длиной границ раздела кристаллов ВВ и его детонационной способностью. Предлагаемый контроль микроструктуры ВВ-ТТ, по всей видимости, при надлежащем уровне отработки, может использоваться для предварительной оценки детонационных свойств ВВ-ТТ.

Литература

- Price D. Shock sensitivity, a property of many aspects. 5th Sympos. (Internate) on Detonation. Pasadena, California, 18-21 August 1970. P. 128–139.
- Физика взрыва. Под ред. Орленко Л. П. Изд. 3-е перераб. М.: Физмалит, 2002. Т. 1.
- Котомин А. А., Душенок С. А., Козлов А. С. Критические диаметры детонации гетерогенных взрывчатых систем // Химическая физика энергонасыщенных систем. Известия СПбГТИ (ТУ), 2013. Т. 21.
- Пат. 2582705, РФ. Способ получения тонкослойных зарядов взрывчатых веществ / Мильченко Д. В., Губачев В. А., Михайлов А. Л., Вахмистров С. А., Титова Н. Н., Пятойкина А. И., Бессонова А. В., Герман В. Н., Андреевских Л. А. // Бюллетень изобретений. 2016.
- Мильченко Д. В., Губачев В. А., Андреевских Л. А., Вахмистров С. А., Михайлов А. Л., Бурнашов В. А., Халдеев Е. В., Пятойкина А. И., Журавлев С. С., Герман В. Н. Нано-структурированные ВВ, получаемые методом осаждения из газовой фазы. Особенности структуры и взрывчатых свойств // Физика горения и взрыва. 2015. Т. 51, № 1. С. 96–101.
- Пат. 2616729, РФ. Мильченко Д. В., Михайлов А. Л., Вахмистров С. А., Титова Н. Н., Пятойкина А. И., Бессонова А. В., Журавлев С. С. Способ получения смешанного пластичного взрывчатого вещества. // Бюллетень изобретений. 2017.