

ПРИРОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ СМЕСЕВЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

УДК 534.222.2

А. А. Решетов

НИИ высоких напряжений, 634034 Томск

На основании выполненных измерений электрической проводимости продуктов детонации смесей гексогена с алюминием сделано заключение, что горение металла начинается сразу за фронтом детонационной волны и продолжается более 10 мкс. Для алюминизированных взрывчатых веществ зона повышенной проводимости соответствует области высоких температур, обусловленных реакцией металла с продуктами детонации взрывчатых веществ.

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по электрической проводимости продуктов детонации (ПД) индивидуальных взрывчатых веществ (ВВ) — гексогена, ТНТ, тэна [1–4]. Вместе с тем, электрическая проводимость ПД смесевых ВВ практически не изучена. Измерение величины и распределения электрической проводимости ПД за фронтом детонационной волны смесевых ВВ представляет интерес для решения прикладных задач и может быть использовано как один из методов изучения механизма взаимодействия активной добавки с продуктами детонации ВВ.

В данной работе на зарядах смесевых ВВ (гексоген — порошкообразный Al) диаметром 20 мм исследована зависимость электрической проводимости от содержания и дисперсности Al. Использовались порошки ультрадисперсного взрывного алюминия (ТУ ВН-12-01-88). Среднеповерхностный диаметр частиц порошков Al $d = 300, 50$ и $0,2$ мкм.

Измерения проводились по методике постоянного напряжения, описанной в [5]. Электроды диаметром 0,5 мм располагались поперек заряда на расстоянии 3 мм друг от друга, что позволило проследить изменение электрической проводимости ПД в определенном сечении заряда во времени. С помощью электролитического моделирования для измерительной ячейки строилась зависимость удельной электрической проводимости σ от сопротивления. По этой зависимости и измеренному сопротивлению определялось значение σ .

Полученные значения удельной электрической проводимости продуктов детонации смесей с различным содержанием и дисперсностью Al приведены в табл. 1. С увеличением содержания алюминия в смеси до 50 % значение σ увеличивается на порядок, а ширина электропроводящей зоны оказывается значительно больше, чем для индивидуального ВВ. Значение σ остается высоким в течение 15 мкс и более, при том что характерное время расширения ПД в данном случае ($d = 20$ мм, $D = 6 \div 7$ мм/мкс) составляет 3 мкс.

Согласно [2, 3] электрическая проводимость ПД гексогена имеет ионную природу и обусловлена диссоциацией ПД под действием высокой температуры. Проведенные в работе измерения давления детонации для указанных составов показали, что с увеличением содержания Al давление ПД изменяется незначительно. Следовательно, увеличение σ , наблюдаемое в экспериментах с алюминизированными ВВ, имеет иную природу.

Таблица 1

Al, %	d, мкм	σ , Ом ⁻¹ ·см ⁻¹	τ , мкс
0	—	0,39	0,3
20	300	1,38	5,5
20	50	0,95	3,1
20	0,20	0,79	2,8
50	300	2,45	7,2
50	50	8,10	12,9
50	0,20	8,10	12,4

Примечание. τ — время уменьшения проводимости ПД в e раз.

Согласно [4, 6] для ВВ с отрицательным кислородным балансом величину и распределение электрической проводимости за фронтом детонационной волны можно объяснить термоэмиссией электронов с конденсированных углеродных частиц. По-видимому, подобный механизм действует и в случае алюминизированных ВВ, когда электрическая проводимость определяется термоэмиссией электронов с нагретой поверхности металлических частиц. Однако не исключено, что для сильно металлизированных ВВ, содержащих 40–50 % металла, сразу же за фронтом детонационной волны образуется электропроводящая сетка из металлических частиц. Это подтверждается наличием проводимости в исходном смесевом ВВ при размерах частиц металла менее 0,2 мкм, а также измерениями электрохимического потенциала по методике, описанной в [3]. Измерения электрохимической ЭДС проводились для составов, содержащих 20 и 50 % алюминия дисперсностью 50 мкм. Отсутствие ЭДС в смесях с содержанием алюминия 50 % указывает на шунтирование электродов измерительной ячейки проводящими цепочками из частиц металла. Следует заметить, что даже при столь большом содержании металла в смеси электроды могут быть закорочены металлом добавки не более 3 мкс. Эти данные позволяют заключить, что после расширения ПД единственным фактором, способным обеспечить высокую электрическую проводимость ПД, остается термоэмиссия электронов с поверхности нагретых конденсированных частиц. Согласно [7] плотность электронов в продуктах детонации ТНТ, гексогена и тэна составляет $c_e \approx 10^{23}$ м⁻³. Так как подвижность электронов значительно больше подвижности ионов, то проводимость ПД в значительной степени определяется электронным компонентом. В этом случае наблюдаемое увеличение на порядок проводимости ПД должно быть связано с пропорциональным увеличением концентрации электронов в ПД алюминизированных ВВ, т. е. $c_e \approx 10^{24}$ м⁻³.

В табл. 2 представлены результаты расчетов c_e в зависимости от содержания алюми-

Таблица 2

Al, %	c_e , м ⁻³		
	T = 3000 K	T = 3500 K	T = 4000 K
20	$2,7 \cdot 10^{23}$	$8,5 \cdot 10^{23}$	$3 \cdot 10^{24}$
50	$0,7 \cdot 10^{24}$	$3,6 \cdot 10^{24}$	$1,2 \cdot 10^{25}$

ния в ВВ и от температуры ПД. Для состава, содержащего 50 % алюминия, температура ПД $T = 3200$ К является температурой теплового равновесия между добавкой и ПД гексогена, а значение $T = 3900$ К — температурой детонации гексогена [8], которая является максимальной возможной температурой на поверхности частиц алюминия. Таким образом, в диапазоне возможных температур частиц алюминия ($3200 \div 3900$ К), как показывает расчет, концентрация электронов в продуктах детонации будет $c_e \approx 10^{24} \div 10^{25} \text{ м}^{-3}$, что на порядок увеличит удельную электрическую проводимость ПД данного состава.

Приняв термоэмиссионный механизм электрической проводимости ПД алюминизированных ВВ, можно следующим образом объяснить полученные результаты. У частицы Al размером ~ 300 мкм прогревается лишь поверхностный слой, который по мере расширения ПД и снижения их температуры остывает за счет большого теплоотвода внутрь частицы, и эмиссия электронов быстро прекращается. Частицы Al размером менее 50 мкм прогреваются полностью в детонационной волне и активно взаимодействуют с расширяющимися ПД гексогена. За счет выделяющегося тепла экзотермической реакции горящие частицы металла, а также конденсированные продукты их горения длительное время сохраняют высокую температуру, что и определяет (вследствие термоэмиссии электронов) большую ширину электропроводящей зоны. Это подтверждается результатами фоторегистрации процесса детонации зарядов смесей гексогена с ультрадисперсным взрывным алюминием. На фоторегистрограммах видно, что при содержании Al в смеси 20 % свечение ПД за фронтом прекращается за время ~ 1 мкс, при содержании Al 50 % интенсивное свечение ПД начинается сразу за фронтом детонационной волны и продолжается более 10 мкс. По-видимому, для индивидуальных ВВ зона повышенной электрической проводимости соответствует области высоких давлений, а для алюминизированных ВВ — области высоких температур, обусловленных реакцией металла с продуктами детонации ВВ.

Следовательно, измерения электрической проводимости алюминизированных ВВ целесообразно использовать как один из возможных методов изучения механизма взаимодействия алюминия с газообразными ПД. В частности, на основании выполненных измерений электрической проводимости ПД смесей гексогена с алюминием можно заключить, что горение металла начинается сразу за фронтом детонационной волны и продолжается более 10 мкс.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бриш А. А., Тарасов М. С., Цукерман В. А. Электропроводность продуктов взрыва конденсированных взрывчатых веществ // ЖЭТФ. 1959. Т. 37. С. 1543.
2. Антипенко А. Г., Дремин А. Н., Якушев В. В. О зоне электропроводности при детонации конденсированных взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. 1975. Т. 225, № 5. С. 1086.
3. Якушев В. В., Дремин А. Н. Природа электропроводности продуктов детонации конденсированных взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. 1975. Т. 221, № 5. С. 1143.
4. Ставер А. М., Ершов В. П., Лямкин А. И. Исследование детонационного превращения конденсированных ВВ методом электропроводности // Динамика сплошной среды. Новосибирск: Ин-т гидродинамики СО АН СССР, 1983. № 63. С. 135–140.
5. Якушев В. В. Электрические измерения в динамическом эксперименте // Физика горения и взрыва. 1978. Т. 14, № 2. С. 3–19.

6. Ставер А. М., Ершов А. П., Лямкин А. И. Исследование детонационного превращения конденсированных ВВ методом электропроводности // Физика горения и взрыва. 1984. Т. 20, № 3. С. 79–83.
7. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществах. М.: Наука, 1980.
8. Авакян Г. А. Расчет энергетических и взрывчатых характеристик ВВ. М.: ВИА им. Ф. Э. Дзержинского, 1964.

*Поступила в редакцию 2/XI 1995 г.,
в окончательном варианте — 11/III 1996 г.*
