ПАРАМЕТРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДЕТОНАЦИИ

Янковский Б.Д.

Объединенный институт высоких температур, 125412, Москва, Ижорская 13/19

Yiy2004@mail.ru

По терминологии работы [1] электрическая детонация – это перегретая химическая детонация, связанная с выделением дополнительной энергии в зоне химической реакции в виде тепла от протекающего тока внешнего источника.

Проявлением электрической детонации может стать увеличение скорости детонации в соответствии с безразмерным соотношением: *(D2/D1)2~W2/W1*, где *W1 = ρQ* - плотность химической энергии (Дж/м3), *Q* - удельная химическая энергия ВВ (Дж/кг), *ρ* - плотность вещества в зоне выделения энергии (кг/м3), *W2 = (ρQ+****jE****τ)* – сумма плотностей химической энергии ВВ и тепловой энергии, выделяемой внешним электрическим источником в химической зоне реакции (Дж/м3), ***j*** и ***E*** – плотность тока (А/м2) и напряженность электрического поля в зоне выделения энергии (В/м), *τ* - время выделения энергии (с).

Экспериментальная реализация электрической детонации заключается в организации схемы вложения дополнительной энергии от внешнего импульсного электрического источника в зону химической реакции шириной *δ* с проводимостью *σ*.$ $

В [2] описана экспериментальная попытка реализовать электрическую детонацию в прямоугольном образце конденсированного ВВ с размерами 3×5×120 мм при дополнительном энерговыделении за фронтом детонации равном 0,4*Q*. Плотность тока ***j*** в разряде составляла ~ 105 А/см2, напряженность электрического поля ***Е*** ~ 105 В/см. Фотохронометрия фронта детонации показала увеличение скорости на 4% с последующим электрическим пробоем продуктов детонации в тыльной части образца.

В докладе представлена оценка параметров импульсного источника электрической энергии, обеспечивающего значения плотности потока **S** и удельное количество выделяемой электрической энергии ***jE****τ*, соответствующие аналогичным величинам химической природы. Эти условия можно записать в виде: ***S****=****EH****=P****u*** и ***jE****τ/ρ=Q.* Здесь *P* и ***u*** - давление и скорость продуктов детонации в зоне выделения энергии, ***H*** - напряженность магнитного поля на границе зоны. С учетом закона Ома для среды в зоне выделения энергии *σ =* ***j/E*** эти условия в величинах электромагнитного поля ***E*** и ***H*** будут выглядеть как: *EH=Pu; EHτ=Qρδ; H/E=σδ*.

Отсюда можно определить требуемые полевые величины в области выделения электрической энергии: *H=(Puσδ)0,5, E=(Pu/σδ)0,5* и время энерговыделения *τ=Qρδ/Pu*.

Для исключения краевых эффектов, связанных с неоднородностью электрического поля на краях электродов, в эксперименте следует использовать дисковый заряд ВВ и, соответственно, радиальную волну детонации. На рисунке показаны геометрия и основные величины, характеризующие процесс.

Экспериментальная сборка состоит из дискового заряда ВВ диаметром 2***R****~*0,2 *м* и толщиной ***h****~*0,01 м. Радиус заряда *R*  определяет дистанцию измерения скорости детонации. Метод измерения здесь не обсуждается. Заряд ВВ зажат между массивными дисковыми электродами (на рисунке не показаны). Ток источника электрической энергии замыкается между электродами через кольцевую зону химической реакции шириной *δ* с переменным радиусом *r*. Возможны два направления распространения радиальной детонационной волны: сходящаяся волна (правая часть рисунка) и расходящаяся волна (левая часть рисунка).

В геометрии со сходящейся волной инициирование детонации и подключение источника электрической энергии осуществляют с периферии сборки, что усложняет конструкцию устройства. Электромагнитная энергия c плотностью потока **S** поступает к зоне химической реакции извне сборки сквозь расширяющиеся продукты детонации. При этом часть поступающей энергии поглощается продуктами детонации. Это может провоцировать их электрический пробой. С другой стороны, уменьшение радиуса зоны химической реакции позволяет поддерживать постоянство плотности выделения энергии при снижении тока источника.



В геометрии с расходящейся волной инициирование детонации и подключение источника электрической энергии осуществляют в центре сборки, что делает конструкцию устройства более простой. Электромагнитная энергия c плотностью потока S поступает к зоне химической реакции также извне сборки сквозь исходный материал ВВ, изначально являющимся диэлектриком. С другой стороны, увеличение радиуса зоны химической реакции требует постоянного увеличения тока источника для поддержки постоянства плотности выделения энергии.

Электротехнические величины ***I*** и ***U*** источника электрической энергии для дополнительного нагрева зоны химической реакции дискового заряда ВВ с радиусом ***R***  и толщиной ***h***  можно определить как: *I=2πr(Puσδ)0,5* и *U=h(Pu/σδ)0,5.*

Выделяемая в области $δ=∆r$ за время химической реакции $τ$ электрическая энергия составит *ΔW=IUτ=2πrhQρΔr.* Тогда на базе измерения $R$ для электрического ускорения детонации потребуется энергия: *W(R)= πR2hρQ.* Таблица содержит значения параметров детонации, использованные в оценке необходимых значений электротехнических величин в области энерговыделения (три последних столбца).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| $ρ, $кг/м3 | δ, м | σ, См/м; | Q, Дж/кг | S=Pu, Вт/м2 | τ, с | D2, м2/с2 | I, МА | U, кВ  | W, МДж |
| ~2\*103 | 10-3 | 101÷103 | ~4\*106 | ~4\*1013 | 2\*10-7 | ~5\*107 | 4÷0,4 | 63 | 2,5 |

В предположении стационарности зоны дополнительного энерговыделения ее электрическое сопротивление составит *R~h/(2πrσδ)~*0,016÷0,16 Ом, а индуктивность источника *L~Rt~*2,3÷0,23 мкГн. Здесь *t* – полное время энерговыделения. Энергоемкость источника определяется эффективностью доставки энергии (2,5 МДж) от источника к зоне химической реакции (обычно < 10-50%). Для геометрии сборки с расходящейся волной детонации предпочтительно использование емкостного источника (900 мкФ) электрической энергии с зарядным напряжением 100-200 кВ. Для геометрии сборки со сходящейся волной детонации перспективно использование взрывомагнитного источника с досрочным срабатыванием размыкателя тока.

Более детальное описание схемы и параметров импульсного источника энергии ограничено полной неопределенностью изменения произведения *σδ* во время энерговыделения.

Масса заряда ВВ для описанных сборок составляет ~ 0,5 кг.

1. Таржанов В.Н. Перегретая детонация в конденсированных ВВ // Физика горения и взрыва. - 1985. - Т.21, № 5. С. 81-85.
2. Ершов А.П., Зубков П.И., Лукьянчиков Л.А. Электрофизические свойства детонационной плазмы и быстродействующие взрывные размыкатели тока // Ж. прикладной механики и технической физики. – 1977. - №6. С. 19-23.