

В. В. Андреев

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ УСКОРЕННОГО ПЕРЕХОДА ГОРЕНИЯ В ДЕТОНАЦИЮ В ЗАРЯДАХ С НЕРАЗРУШАЕМОЙ ОБОЛОЧКОЙ

Экспериментально изучены особенности развития детонации в зарядах порошкового тэна с неразрушаемой оболочкой. Установлено, что начальные стадии процесса стабилизируются спадом давления при деформации внутренней оболочки из оргстекла в зарядах с комбинированной оболочкой и разгрузкой через отверстия для визуализации свечения в стальной. Дается прогноз характера развития процесса.

Изученные ранее [1—4] закономерности развития ускоренного перехода горения порошкового тэна в детонацию, завершающиеся формированием устойчивых низкоскоростных режимов, называемых в [4] скоростным конвективным горением (СКГ), относились к возбуждению процесса в зарядах полидисперсного тэна диаметром $d = 3 \div 5$ мм с малопрочной оболочкой. Предполагалось, что скорость абляционного горения стабилизируется за счет постоянства давления в зоне реакции, задаваемого прочностными характеристиками оболочки заряда. В связи с этим интересно исследование особенности развития ускоренного перехода, возбуждаемого искровым разрядом в зарядах порошкового ВВ с прочной (неразрушаемой детонацией) оболочкой.

В эксперименте при наблюдении кинематики развития самосвечения камерой СФР-2 в режиме фоторазвертки через отверстия по образующей боковой поверхности стальной оболочки заряда (рис. 1) устанавливалась зависимость скорости распространения процесса от условий иницирования, диаметра и особенности конструкции исследуемого заряда.

Иницировали процесс в порошковом тэне электрическим разрядом конденсатора ($C_0 = 1$ мкФ, $U = 4 \div 8,5$ кВ) через искровой промежуток между электродами (рис. 1, а) и между изолированным осевым электродом и корпусом заряда в постановке опыта по схеме рис. 1, б. На рис. 2 приведены фоторазвертки переходных процессов, соответствующих экспериментам по схемам рис. 1 с зарядами гравиметрической плотности ($d = 3$ мм). На первой развертке свечение распространяется с постоянной скоростью $D \approx 1$ км/с, на второй регистрируется переход в нормальную детонацию ВВ, соответствующую исходной начальной плотности заряда ($D \approx 4,8$ км/с).

Систематизация экспериментальных результатов для зарядов диаметром 3—5 мм показала (рис. 3), что развитие процесса в зарядах с оболочкой из оргстекла толщиной $\Delta = 1,5$ мм, вклеиваемой в неразрушаемую стальную оболочку с $\Delta = 8 \div 15$ мм, аналогично данным [3] по иницированию процесса в зарядах с оболочкой из оргстекла, $\Delta = 3$ мм. Здесь также существуют режимы квазистационарного распространения СКГ в зарядах с $d < 5$ мм и реализуется переход в нормальную детонацию при его превышении.

В заряде со стальной оболочкой (см. рис. 3, а) процесс завершается нормальной детонацией во всем изученном диапазоне $d = 3 \div 6$ мм. Причем размер переходной зоны — от искры до места регистрации свечения со скоростью нормальной детонации — несколько возрастает с увеличением d (в рассматриваемой геометрии зарядов). Варьирование энерговодома в исследованном диапазоне изменения напряжения в разрядной цепи существенных изменений в наблюдаемую картину не внесло.

Таким образом, режим ускоренного перехода горения порошкового тэна в детонацию в заряде с прочной оболочкой завершается нормальной детонацией (для $d < 5$ мм) в отличие от экспериментов с комбинированной оболочкой и малопрочной оболочкой из оргстекла [4]. Этот результат, вообще говоря, очевиден, так как из данных по ударно-

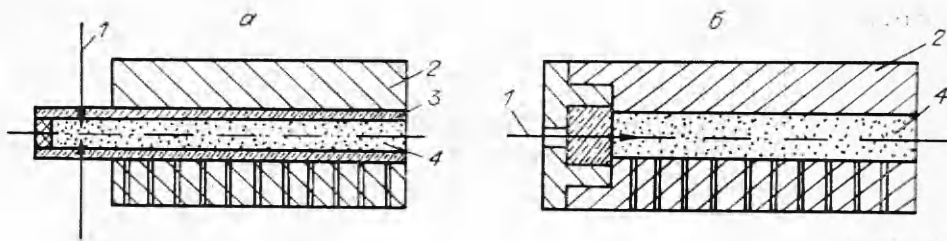


Рис. 1. Схема эксперимента:

a — заряд с комбинированной оболочкой; *b* — заряд в стальной оболочке. 1 — электрод; 2 — металл; 3 — оргстекло; 4 — ВВ.



Рис. 2. Фоторазвертка процесса в заряде с комбинированной (*a*) и стальной (*b*) оболочками.

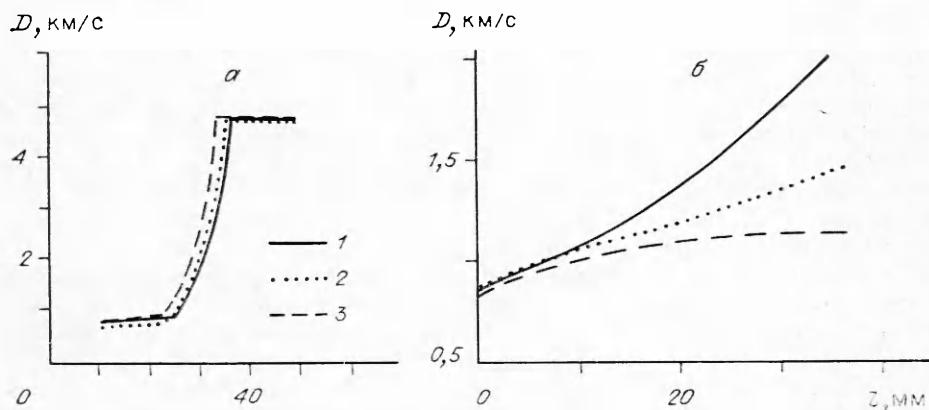


Рис. 3. Кинетика развития процесса в зарядах с металлической (*a*) и комбинированной (*b*) оболочками.
 d , мм: 1 — 6, 2 — 4, 3 — 3.

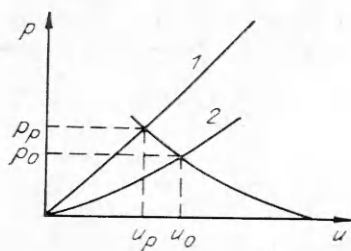


Рис. 4. p — u — диаграмма нагружения комбинированной оболочки.
 1 — металл; 2 — оргстекло.

волновому инициированию ВВ известно [5], что увеличение массы и прочности оболочки заряда эквивалентно увеличению его диаметра. По данным [3], завершающие стадии ускоренного перехода характеризуются формированием волн сжатия, трансформирующихся в ударную волну, инициирующую нормальную детонацию.

Существование квазистационарных режимов СКГ в комбинированной оболочке свидетельствует о том [4], что достигаемый в них уровень давления в зоне реакции обусловлен возросшей динамической прочностью внутренней оболочки, что иллюстрирует $p-u$ -диаграмма распространения волн сжатия в оргстекле и металле (рис. 4), где p_p соответствует давлению в СКГ с комбинированной оболочкой. Деформация или разрушение внутренней ее части в заряде диаметром меньше критического ведет к стабилизации СКГ. Этот результат может быть получен и при введении (искусственным образом) разгрузки в заряде с неразрушаемой стальной оболочкой. Действительно, отверстия для визуализации свечения диаметром 1,8 и 2,5 мм в зарядах с $d = 3$ и 5 мм с шагом 5 мм дает устойчивый процесс со скоростью распространения ~ 1 км/с.

На основании полученных экспериментальных результатов можно провести оценки условий формирования начальных стадий ускоренного перехода горения порошкового ВВ в детонацию и дать прогноз характера развития процесса при изменении дисперсности ВВ и прочности оболочки заряда. В соответствии с [5], примем для оценок равенство $D = c \sim \sqrt{p}$, где в свою очередь $p \sim 3 (\rho D)^{2/3} / (l^{1/3} \tau)$. Согласно [4], такое определение p имеет место для установленного значения массовой скорости горения частиц ВВ в СКГ. Здесь $\tau \approx 2\Delta/D$ — время удержания давления p в оболочке; ρ — плотность ВВ, l — средний размер частиц ВВ. Сопоставление отмеченных параметров дает зависимость скорости СКГ от толщины оболочки в виде $D \sim \sqrt[3]{\Delta^3} \approx \sqrt{\Delta}$, соответствующую ранее найденной в эксперименте [4] для зарядов порошкового тэна в оболочках из оргстекла диаметром ≤ 4 мм. Полученный результат объясняет и увеличение D в зарядах с комбинированной оболочкой ростом давления в зоне реакции, обусловленным возрастанием времени разрушения внутренней оболочки [6]. Он же устанавливает и ограничение на минимально возможную для существования СКГ прочность оболочки заряда, обеспечивающую удержание давления в газовой фазе на уровне, гарантирующем распространение СКГ с $D > 0,5$ км/с, исключающей паковку ВВ в опережающей волне сжатия [3].

С другой стороны, значительное увеличение поверхности горения и прочности оболочки приведет к росту давления до величины p^* , достижение которой обуславливает возбуждение детонации волной сжатия. Действительно, инициирование высокодисперсного порошкового тэна ($l \approx 10$ мкм) искровым разрядом в заряде с $d = 2,8$ мм в оболочке из оргстекла толщиной > 6 мм дает переход в режим нормальной детонации.

Резюмируя изложенное, сформулируем основные результаты. В зарядах с неразрушаемой оболочкой режимы СКГ неустойчивы и завершаются нормальной детонацией. Введение искусственного газоотвода стабилизирует СКГ. В зарядах с комбинированной оболочкой стабилизация СКГ обеспечивается разрушением внутренней малопрочной оболочки, при этом скорость СКГ увеличивается из-за роста давления в зоне реакции вследствие возрастания времени его удержания. Выявленные закономерности распространения СКГ дают основание возможности прогноза характера его развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В. В., Зубков П. И., Киселев Г. И. и др. // Динамика сплошной среды.— Новосибирск, 1972.— Вып. 10.
2. Андреев В. В., Лукьянчиков Л. А. К механизму распространения детонации с малой скоростью в порошковом тэне при искровом инициировании // ФГВ.— 1974.— 10, № 6.— С. 912.
3. Андреев В. В. // Механика взрывных процессов.— Новосибирск, 1977.— Вып. 29.

4. Андреев В. В., Ершов А. П., Лукьяничкова Л. А. Двухфазная низкоскоростная детонация пористого ВВ // ФГВ.— 1984.— 20, № 3.— С. 89—93.
5. Беляев А. Ф., Боболев В. К., Коротков А. Н. и др. // Переход горения конденсированных систем во взрыв.— М.: Наука, 1973.
6. Воловец Л. Д., Златин Н. А. и др. // Проблемы прочности и пластичности твердых тел.— Л.: Наука, 1979.

г. Новосибирск

Поступила в редакцию 10/IX 1992

УДК 532.529 : 518.5

А. Г. Кутушев, О. Н. Пичугин

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРЕРЫВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДВ В ГАЗОВЗВЕСЯХ УНИТАРНОГО ТОПЛИВА СЛОЕМ ИНЕРТНЫХ ЧАСТИЦ

Выполнено численное исследование процесса прерывания распространения волны гетерогенной детонации в реагирующей дисперсной смеси слоем инертных частиц, находящимся внутри облака распыленного унитарного топлива. Установлено, что в зависимости от параметров унитарного топлива и взвеси инертных частиц возможны как режимы прерывания, так и непрерывания распространения волн детонации. Предпринята попытка объяснения механизма гашения волн горения слоем инертных частиц. Предложен энергетический критерий оценки возможности подавления детонационных волн прерывателем из взвеси инертных частиц.

В настоящее время во многих отраслях современной техники и технологии широко используются пневмотранспортные системы, с помощью которых осуществляется перенос по трубопроводам под действием сжатого газа горючих мелкодиспергированных материалов. В частности, пневмотранспортные системы применяются в технологии производства разнообразных взрывчатых веществ в процессе их сушки. К их числу относятся унитарные (окислительсодержащие) топлива типа порохов.

Практика эксплуатации пневмотранспортных систем с диспергированным унитарным топливом свидетельствует о сравнительно нередких и крайне нежелательных случаях возгорания дисперсных частиц в двухфазном потоке и последующего перехода горения в гетерогенную детонацию, т. е. взрыв. Ввиду того, что в реальных условиях практически невозможно устранить все причины, вызывающие воспламенение, горение и последующий взрыв газозвеси унитарного топлива, возникает необходимость в разработке систем взрывной защиты пневмотранспортных установок.

Одно из технических решений системы взрывной защиты предполагает импульсный ввод в транспортную магистраль распыленного огнетушащего порошка на пути распространения волны горения с целью ее ослабления и последующего полного затухания. Достоинство такой системы, именуемой также прерывателем детонации,— объемный пламегасящий эффект слоя частиц распыленного порошка и весьма кратковременный период подавления волн горения и детонации.

В настоящей работе предпринята попытка математического моделирования процесса прерывания волны гетерогенной детонации в газозвеси унитарного топлива, содержащей слой химически инертных частиц.

Основные уравнения. Пусть имеется трехфазная смесь газа, частиц унитарного топлива и инертных частиц. Для описания движения такой смеси принимаются обычные для механики сплошных многофазных дисперсных сред допущения [1]: расстояния, на которых параметры течения меняются существенно, много больше характерных размеров частиц и расстояний между ними; эффекты вязкости и теплопроводности существ-