

УДК 532.5

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ПРИ ПЛАЗМОЗАМЕЩАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОТЕРМОХИМИЧЕСКОГО ЗАЖИГАНИЯ ПОРОХОВЫХ ЗАРЯДОВ С ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ЗАРЯЖАНИЯ

© 2011 г. С.В. Сияев¹, А.Г. Анисимов², В.В. Жаровцев¹, А.Д. Матросов²

¹НИИ прикладной математики и механики Томского госуниверситета

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск

ssv@niipmm.tsu.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Предложена баллистическая установка с плазмозамещающей технологией электротермохимического зажигания порохового заряда. Построены математическая модель и алгоритм расчета выстрела. Приведены результаты расчетов и модельных экспериментов.

Ключевые слова: электротермохимическое зажигание, металлический спрей, внутренняя баллистика, математическое моделирование, высокоскоростное метание.

Совершенствование баллистических установок осуществляется в направлении увеличения скорости метаемых тел с возможностью регулирования ее величины за счет изменения режима ввода в метательный заряд электрической энергии. Практическая реализация этого подхода связана с разработкой экономичных управляемых способов электроимпульсного зажигания метательных зарядов с высокой плотностью заряжения и созданием специализированных источников электрической энергии. Наиболее распространенная технология ЭТХ-зажигания пороховых зарядов основана на электровзрывных методах генерации плазмы с помощью высоковольтных накопителей электрической энергии. Применение высоковольтных конденсаторных батарей при решении ряда прикладных задач ограничено соображениями безопасности и другими причинами [1]. В рассматриваемых ускорителях плазмозамещающей субстанцией являются двухфазные высокотемпературные продукты сгорания дополнительного заряда высокоэнергетического гетерогенного пастообразного топлива (ПТ). Зажигание такого заряда осуществляется потоками и ансамблями мелкодисперсных расплавленных металлических частиц, образующихся в результате электроимпульсной капельной деструкции фольговых проводников [2]. Такая технология зажигания позволяет применять низковольтные (95–100 В) компактные источники электрической энергии с возможностью регулирования режима зажигания дополнительного заряда путем оперативного прерывания электрического разряда в необходимый

момент времени. Общая схема баллистической ЭТХ-установки показана на рис. 1, где K – разрядный ключ, C – низковольтный конденсатор, 1 – внешний электрод, 2 – центральный электрод, 3 – металлические фольговые проводники (спрей-элементы), 4 – вспомогательный заряд ПТ, 5 – изолятор, 6 – пороховой метательный заряд, 7 – метаемое тело.

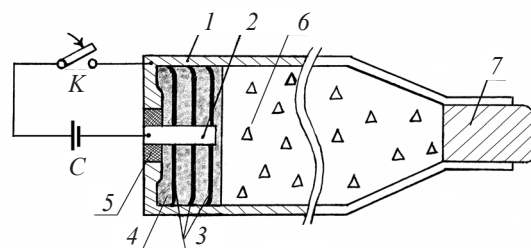


Рис. 1

Боковые стенки камеры 1 и центральный электрод 2 функционально представляют собой коаксиальную камеру-ускоритель для электроимпульсной деструкции спрей-элементов. При выполнении ряда условий [3] электрический разряд через спрей-элементы 3 генерирует потоки и ансамбли мелкодисперсных металлических капель – металлический спрей в объеме вспомогательного заряда 4 , чем обеспечиваются многоочаговый нагрев и зажигание прилегающих к спрей-элементам слоев высокоэнергетического топлива. Продукты сгорания существующих гетерогенных ПТ по своим теплофизическим параметрам приближаются к параметрам плазменных потоков. При этом вводимая в пороховой заряд тепловая энергия может

значительно превышать энергию электровзрывного зажигания за счет увеличения массы плазмозамещающего топлива, продукты сгорания которого увеличивают общее количество рабочего газа и повышают его скорость звука, что, в свою очередь, приводит к увеличению скорости метаемого тела.

Экспериментальные исследования динамических особенностей и эффективности систем с пастообразными зарядами проведены на 35-мм ЭТХ-ускорителе [4]. Изучены механизм и условия низковольтной электроимпульсной капельной деструкции металлических фольг по классической методике, основанной на линеаризации уравнений магнитной гидродинамики. Исследования выполнены в приближении идеальной несжимаемой жидкости с однородно распределенным током в однородном поперечном магнитном поле. Показано, что капельная деструкция в фольговом (плоском) проводнике происходит в результате развития МГД-неустойчивостей и может проходить в два последовательных этапа. На первом этапе происходит нитевидное расслоение проводника вдоль токовых линий, а на втором этапе нитевидные фрагменты жидкого проводника распадаются на капли в результате развития неустойчивости перетяжечного типа.

На основе результатов комплексных экспериментально-теоретических исследований разработаны физические представления о режимах многоочагового зажигания и горения гетерогенных пастообразных видов топлива, динамике газоприхода и перераспределения энергии рабочих газов в заснарядном объеме. Эти представления с использованием подходов динамики многофазных сред [5] позволили сделать математическую постановку прямой задачи внутренней баллистики для рассматриваемых систем высокоскоростного метания. При математическом моделировании пастообразного заряда рассматривается квазиодномерное нестационарное течение смеси в односкоростном однодавленческом приближении, при этом выделяются два режима движения: пузырьковый и капельный.

Сначала реализуется пузырьковый режим. В этом случае несущей фазой является несжимаемая жидкость, аппроксимирующая ПТ, а дисперсной фазой – пузырьки, заполняемые продуктами сгорания ПТ, воздушные пузырьки, содержащиеся в ПТ, и пары ПТ, образующиеся при движении в заряде расплавленных частиц металла. При капельном режиме горения несущей фазой являются газообразные продукты сгорания ПТ, а дисперсной – частицы ПТ и расплавленного металла, а также твердые частицы, содержащиеся в

продуктах сгорания ПТ (к-фаза). Первый режим течения смеси переходит во второй, когда объемное содержание пузырьков достигнет заданной величины. При ряде дополнительных предположений получена система уравнений в частных производных с замыкающими соотношениями. Она описывает динамику процесса выстрела с момента возникновения очагов горения и позволяет решить основную задачу внутренней баллистики для рассматриваемых ствольных систем. Результаты сравнения теоретических расчетов и опытных данных при скоростях метания свыше 2 км/с вполне удовлетворительны по основным параметрам выстрела.

Построенная математическая модель выстрела баллистической установки с комбинированным метательным зарядом осложнена тем, что приходится сопрягать на границе раздела полузарядов два течения (процессы в пороховом полузаряде также описываются системой уравнений в частных производных). Обе системы уравнений записывались в массовых лагранжевых переменных. На неподвижной стенке и на метаемом теле ставятся условия непротекания, а на границе раздела полузарядов (контактной границе) – условия равенства скоростей и приведенных напряжений. Закон движения тела подчиняется условию Лагранжа.

При численном решении задачи используется полностью консервативная разностная схема сквозного счета [6]. Полученные результаты подтвердили возможность оперативно регулировать скорость метаемого тела в режимах высокоскоростного выстрела.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №10-08-00453 а.

Список литературы

1. Pokryvailo A., Kanter M., Melnik D. // In: Proc. 2nd Int. Conf. All Combat Vehicle (AECV). Jun. 8–12. 1997. P. 297–306.
2. Zharovtzev V.V., Sinyaev S.V., Fomenko V.V. // IEEE Transactions on Magnetics. 2001. Vol. 37, No1. P. 216–218.
3. Сinyaев С.В. // Фундаментальные и прикладные проблемы современной механики: Докл. III Всерос. конф. Томск, 2–4 окт. 2002. С. 108–109.
4. Sinyaev S.V., Kramar M.A., Kulpin V.I., Surkov V.G. // IEEE Transactions on Magnetics. 2007. Vol. 43, No 1. P. 318–321.
5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч.I. М.: Наука, 1987. 464 с.
6. Жаровцев В.В. // ЖВММФ. 1977. Т. 17, №5. С. 1320–1324.

**THE DYNAMIC PROCESSES IN BALLISTIC LAUNCHERS WITH PLASMA-REPLACEMENT
TECHNOLOGY OF ETC-IGNITION OF POWDER CHARGES WITH HIGH LOADING DENSITY**

S.V. Sinyaev, A.G. Anisimov, V.V. Zharovtsev, A.D. Matrosov

The ballistic launcher with plasma-replacement technology of ETC-ignition of powder charge is proposed. The shooting process model and computation technique are constructed. The simulation and model test results are given.

Keywords: electro thermal chemical ignition, metal spray, ballistic, mathematic simulation, high velocity throwing.