

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

**ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО МЕТАНИЯ
ТВЕРДЫХ ТЕЛ ВЗРЫВОМ**

В. М. Титов, Г. А. Швецов
(Новосибирск)

Кумулятивный заряд для метания частиц [1] — это трубка ВВ длиной L с диаметрами d_1, d_2 , инициируемая с конца (рис. 1). На расстоянии L_1 от выхода на оси помещается частица сферической формы $\varnothing d_n$. Струя продуктов детонации, движущаяся со скоростью $u > D$ (D — скорость детонации ВВ), ускоряет частицу. Такая конструкция эффективна при разгоне до скорости $v_0 \sim 1,1 D$. Рассмотрим условия, определяющие работу заряда.

1. Чтобы тело не разрушалось, должно выполняться условие [2]:

$$\rho u^2 \leq a \sigma, \quad (1)$$

где ρ — плотность струи; σ — предел прочности материала; $a \approx 3,5$. С данными по скорости струи неравенство (1) позволяет дать оценку ρ . На рис. 2 приведены измерения скорости воздушной ударной волны в канале перед струей w в зависимости от длины канала x при $d_2/d_1 = 3$. Значения w получены осциллографированием и на фоторегистре СФР: ВВ — ТГ 50/50, условия опытов — в воздухе при нормальном давлении. Уменьшение w при $x/d_1 > 20$ вызвано в основном эрозией стенок. Для $w \approx 13,5$ км/сек

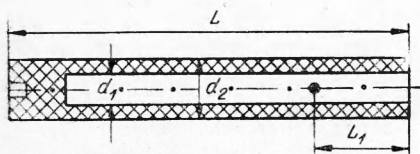


Рис. 1. Заряд для метания.

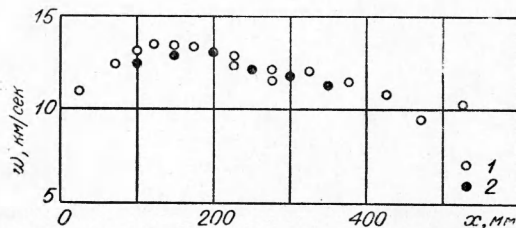


Рис. 2. Скорость ударной волны в канале заряда с $d_1 = 10$ мм, $d_2 = 30$ мм.
1 — осциллографирование; 2 — СФР.

скорости за фронтом и продуктов на границе раздела $u \sim 12,5$ км/сек [3]. В опытах при $d_2/d_1 = 3$ стальные шары (от подшипников) часто разрушались, т. е. скоростной напор близок к критическому. С учетом прочностных свойств конструкционных сталей, из (1) получено $\rho \approx 0,02 - 0,04$ г/см³. Точное определение затруднено уже вследствие импульсного характера нагрузки: далее по порядку величины принято $\rho \approx 0,03$ г/см³ при $d_2/d_1 \approx 3$.

2. Величина v_0 сопоставима с u в случае [1], если

$$\frac{l \rho}{d_n \rho_0} \gtrsim 1, \quad (2)$$

где l — длина струи, d_n , ρ_0 — начальный размер и плотность тела. Для тела из стали $l/d_n > 250-300$, а поскольку $L > l$,

$$L/d_n > 250 - 300. \quad (3)$$

Из данных рис. 2 следует, что для достижения максимальной скорости

$$L d_1 \leq 20 - 25. \quad (4)$$

Неравенства (2)—(4) определяют характеристики зарядов для получения максимальных значений v_0 (при $d_2/d_1 \approx 3$).

3. Тело должно выйти из канала раньше, чем к торцу придет детонационная волна. Вместе с тем очевидно, что увеличение L_1 (до некоторого предела) ведет к росту v_0 .

4. Рентгеноимпульсной съемкой показано, что размер шара, при котором не разрушаются стенки канала, вследствие возмущений в потоке определяется условием

$$d_n \leq 0,25d_1. \quad (5)$$

При равенстве в (5) из (3) следует, что $L/d_1 > 60-75$, а это не позволяет реализовать условие (4).

На основе условий (1)—(4) совместно с Ю. И. Фадеенко, Н. С. Титовой были разработаны заряды для метания тел со скоростями $v_0 \sim 3-12$ км/сек [1]. Недостатком зарядов является большой вес ВВ: отношение масс ВВ и метаемого тела составляет 10^4-10^6 . Для метания шаров массой 1-2 г (для стали — $d_n \sim 7-8$ мм) вес заряда ВВ составлял 10-100 кг. Рассмотрим методы, позволяющие уменьшить вес заряда.

Очевидно, что увеличение d_2/d_1 до некоторого предела ведет к росту значений скорости и плотности газа в струе, как показывают и измерения $w(x)$ (рис. 3). С этим согласуется зависимость $v_0 = f(d_2/d_1)$ при равных других параметрах (рис. 4, данные получены Ю. И. Фадеенко, В. П. Чистяковым). Из рис. 3, 4 следует, что рациональная верхняя граница $d_2/d_1 \leq 2,5-3$ (возможное влияние масштаба не учитывается). В эксперименте для уменьшения веса ВВ обычно используются заряды при $d_2/d_1 \leq 2,4$.

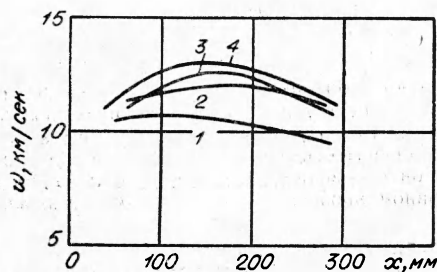


Рис. 3. Зависимость скорости волны от $k = d_2/d_1$; $d_1 = 10$ мм.
1 — $k=2$; 2 — $k=2,4$; 3 — $k=4$; 4 — $k=3$.

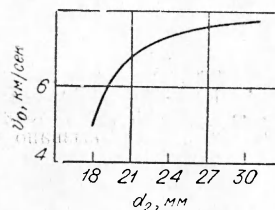


Рис. 4. Скорость стального шара $d_n = 1$ мм в зависимости от d_2 ; $L = 250$ мм, $L_1 = 50$ мм, $d_1 = 10$ мм.

Снизить вес ВВ можно также, если поместить заряд в массивный корпус. Приведем параметры одного из зарядов без корпуса, описанного в работе [1]: $L = 500$ мм, $L_1 = 100$ мм, $d_2 = 48$ мм, $d_1 = 20$ мм, вес ВВ — 1,35 кг, $L/d_1 = 25$ обеспечивает максимальную величину w ; d_2/d_1 — близко к оптимальному, L_1 — удовлетворяет условию 3 (последнее показано рентгеноимпульсной съемкой). Стальной шар $d_n = 2$ мм этим зарядом ускоряется до $v_0 = (7,3 \pm 0,25)$ км/сек. Опытным путем был построен заряд с теми же значениями параметров (L , L_1 , d_1 , d_n , v_0), помещенный в корпус из стали (по технологическим причинам изменены значения L , d_1) (табл. 1). Отклонение от указанного среднего значения скорости $\Delta v_0 \leq \pm 0,25$ км/сек.

При $d_2/d_1 < 1,5$ (т. е. при $d_2 < 28$ мм) для любой толщины корпуса значение v_0 снижается. Кроме того, увеличение отношения массы корпуса к массе ВВ сверх пятикратного (это имеет место при $\delta = 4$ мм) не ведет к увеличению значения v_0 . Вес построенного заряда 350 г, т. е. достигнуто четырехкратное снижение в сравнении с зарядом, описанным в [1]. Геометрическое подобное увеличение размеров заряда позволило создать устройство для ускорения стального шара $d_n = 3,2$ мм до $v_0 \approx 8$ км/сек в лабораторных условиях.

Если скорость удара 5-6 км/сек, снизить вес заряда можно, используя тела размерами, удовлетворяющими равенству в (5). Для стальных шаров здесь не удается сохра-

Таблица 1

Параметры заряда	Стенка корпуса δ , мм	v_0 , км/сек
$L = 550$ мм; $L_1 = 100$ мм	2	6,5
$d_2 = 23$ мм; $d_1 = 18$ мм	4	7,2
	6	7,25

Таблица 2

L , мм	l_1 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	l_H , мм	d_0 , мм	v_0 , км/сек
400	50	10	24	2,52	—	5,3
600	75	15	36	3,5	3,4	5,0
800	100	20	48	4,75	4,5	5,3

нить длину заряда оптимальной, что приводит к падению скорости v_0 . Табл. 2 содержит примеры конструкции зарядов, где корпус отсутствует; d_0 — конечный размер тела после абляции при разгоне, определяющийся из фотометрирования рентгенограмм движущегося тела. L/d_H для всех зарядов близко к 160—170, что меньше, чем определяемое из формулы (3), но позволяет работать при достаточно высоких скоростях истечения.

Наименьший вес заряда ВВ можно получить, если реализовать оба перехода одновременно в одном заряде. В табл. 3 приведены параметры зарядов, построенных на этом принципе. Корпус из стали, δ — толщина стенки.

Таблица 3

L , мм	L_1 , мм	d_1 , мм	d_2 , мм	δ , мм	d_H , мм	v_0 , км/сек	Вес ВВ, г
800	100	18	28	2	4	3,9	500
800	100	18	28	4	4	5,3	500
1360	160	32	52	8	8	5,3	2700

На рис. 5 приведена фотография каверны от удара стального шара $d_0 = 8$ мм ($d_0 = 7,1$ мм) в плите из дюралюминия Д16 при $v_0 = 5,3$ км/сек.

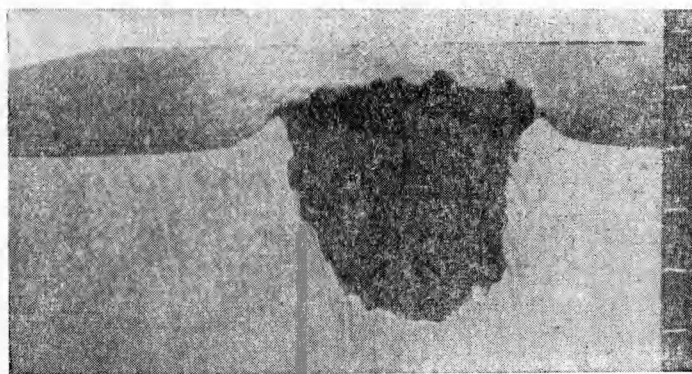


Рис. 5. Каверна от удара стального шара $d_0 = 7,1$ мм в дюралюминии; $v_0 = 5,3$ км/сек.

Изложенные приемы могут быть применены также и для снижения веса ВВ в системах, предназначенных для ускорения тел до скоростей 10—12 км/сек [1]. При использовании корпусов из различных материалов в первом приближении можно считать определяющим фактором массу стенки корпуса, что подтверждается экспериментами.

Авторы признательны Ю. И. Фадеенко, В. П. Чистякову за предоставление данных (см. рис. 4).

Поступила в редакцию
10/VII 1969

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Титов, Ю. И. Фадеенко, Н. С. Титова. Докл. АН СССР, 1968, 180, 5.
2. Ю. И. Фадеенко. ФГВ, 1967, 3, 2.
3. Н. М. Кузнецов. Термодинамические функции и ударные диабаты воздуха при высоких температурах. М., Машгиз, 1965.

УДК 662.312

МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ НИТРОГЛИЦЕРИНОВОГО ПОРОХА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

О. П. Коробейничев, С. С. Хлевной
(Новосибирск)

Долгое время считалось, что первичной стадией распада нитроэфиров является отрыв NO_2 -группы. В последнее время появились работы [1], ставящие под сомнение это утверждение применительно к двухосновным твердым топливам $D=4$, состоящим главным образом из нитроклетчатки и нитроглицерина. В этих работах проводились масс-спектрометрические исследования летучих продуктов, выделяющихся из пороха на разных стадиях при его зажигании с помощью лучистой энергии от дуговой отражательной печи и при его горении. На основании анализа своих данных авторы [1] пришли к выводу, что первичным продуктом распада двухосновных топлив является отрыв радикала NO_3 . В этих работах исследования проводились в неизотермических условиях и при давлениях $10\text{--}100$ мм рт. ст., где не исключалась возможность протекания вторичных реакций в газовой фазе.

Для изучения первичных стадий распада нитроглицеринового пороха в изотермических условиях при повышенных температурах, близких к температурам на поверхности горящего пороха ($170\text{--}290^\circ\text{C}$), была применена описанная ранее методика [2—4]

импульсного нагрева малой навески пороха толщиной в несколько микрон) в ионном источнике время-пролетного масс-спектрометра при давлении 10^{-5} мм рт. ст., при котором вторичные реакции в газовой фазе заведомо исключены. Исследовавшийся порох Н имеет состав: нитроклетчатка (58% весовых), нитроглицерин (28%), динитротолуол (10%), центрилит (3%), добавки (1%).

На рис. 1 приведен масс-спектр продуктов термического распада пороха Н. Наиболее интенсивными являются пики масс 46 (100%), 30 (28%), 29 (19%), 76 (8,5%), 89 (4%), 62 (3%), 120 (3%), 165 (1%). Массы от 62 до 89 определены с точностью до ± 1 а. е. м., а массы 120 и 165 с точностью до ± 2 а. е. м. Соотношение между интенсивностями пиков в масс-спектре при 170°C менялось незначительно в ходе реакции.

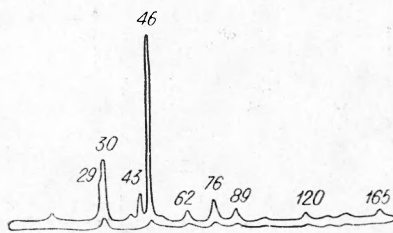


Рис. 1. Масс-спектр продуктов распада нитроглицеринового пороха при $170\text{--}200^\circ\text{C}$.

Сопоставление приведенного на рис. 1 масс-спектра с масс-спектрами нитроглицерина [5] и ряда динитротолуолов [6] показывает, что в первичной стадии разложения при температурах $170\text{--}200^\circ\text{C}$ в вакууме основным процессом является испарение нитроглицерина (главным образом) и динитротолуола, а распад нитроклетчатки протекает с крайне малой скоростью. Действительно, линия массы 76 (наиболее интенсивная из серии линий с массами 62, 76, 89, 165) может быть отнесена лишь к нитроглицерину, поскольку в масс-спектрах всех динитротолуолов эта линия составляет менее 50% от наиболее интенсивных линий с массами 89 и 165. На факт испарения указывает и очень малый температурный коэффициент скорости распада при этих температурах. Возможно, что здесь скорость испарения лимитируется диффузией молекул нитроглицерина и динитротолуола через нитроклетчатку.

При более высоких температурах ($220\text{--}290^\circ\text{C}$), где скорости распада нитроклетчатки [4] и испарения нитроглицерина из-за разных температурных коэффициентов стано-