

Основу любого огнестрельного оружия составляет боеприпас и ствол, а в основе боеприпаса лежит метательное вещество и снаряд.

В качестве метательного вещества в настоящее время в стрелковом оружии

выступают пороха — дымный и бездымный. Дымные пороха используются крайне редко. Состав порохов и их форму разрабатывают химики. Форма снаряда (пули), ствола и вес оружия рассчитываются по законам баллистики.

## 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

Взрывчатые вещества используются как источник энергии для метания пуль, снарядов и разрыва снарядов.

К взрывчатым веществам относятся такие механические смеси и химические соединения, которые могут под влиянием внешних воздействий чрезвычайно быстро превращаться из твердого состояния в большое количество нагретых газов, способных производить либо метание либо разрушение.

Процесс перехода из одного состояния в другое может происходить либо в форме горения, либо взрыва (детонации).

*Горение* — это процесс, который протекает со скоростью нескольких метров в секунду.

Например, горение пороха при выстреле, его скорость горения прямо про-

порциональна давлению.

*Взрыв* (детонация) — это когда процесс протекает со скоростью нескольких сотен и даже тысяч метров в секунду и сопровождается повышением давления газов.

Примером может служить тротил, скорость детонации которого доходит до 6900 м/с.

По практическому применению взрывчатые вещества делятся на иницирующие; дробящие; метательные; пиротехнические составы.

*Иницирующие* взрывчатые вещества взрываются от теплового или механического воздействия. Они применяются для снаряжения капсулей-воспламенителей и капсулей-детонаторов для

вызова взрыва других взрывчатых веществ. К ним относятся гремучая ртуть, азид свинца и стифнат свинца.

*Дробящие* взрывчатые вещества взрываются, как правило, под действием детонации иницирующих взрывчатых веществ и при взрыве производят дробление окружающих предметов. Например, тротил, пироксилин, нитроглицерин.

*Пиротехнические* составы представляют собой смеси горючих веществ (магния, фосфора, алюминия и др.), окислителей (хлоритов, пикратов, нит-

ратов и др.) и цементатов (шеллака, ка-нифоли, гуммирабика и др.). Они применяются для снаряжения осветительных и сигнальных патронов, трассирующих и зажигательных пуль (снарядов) и т. п.

*Метательные* взрывчатые позволяют использовать их для метания пуль, мин, снарядов. Основными представителями этого класса взрывчатых веществ являются дымные и бездымные пороха.

## 2. ДЫМНЫЕ ПОРОХА

Дымные пороха представляют собой механическую смесь селитры, серы и древесного угля, применяются для снаряжения запалов к ручным гранатам, дистанционных трубок взрывателей, изготовления огнепроводных шнуров и других, а также для охоты.

Свойства дымных порохов рассмотрим на примере охотничьего дымного пороха.

Дымный порох — смесь 75 % калиевой селитры, 15 % угля и 10 % серы — имеет черный или слегка коричневатый вид зерен с блестящей поверхностью, поэтому его называют еще «черным».

Среднее давление пороховых газов в патроннике — не более 500 кгс/см<sup>2</sup>, а максимальное — не более 600 кгс/см<sup>2</sup>.

Достоинства:

- в герметически закрытом сосуде сохраняет свои свойства при долголетнем хранении;

- легко воспламеняется от относительно слабых капсулей-воспламенителей;
- имеет слабую реакцию на изменение плотности заряжания;
- мало восприимчив к колебанию внешней температуры;
- его газы слабо воздействуют на ствол. Недостатки:
- очень чувствителен к огню;
- при увлажнении 7 % теряет способность к воспламенению, а после сушки оказывается негодным к употреблению;
- дает громкий звук при выстреле и сильную отдачу;
- твердые остатки составляют 56—58 % от заряда, образуют густое облако;
- при выстреле выделяет относительно немного тепла (700—770 ккал/кг), развивает низкую температуру (2200—2300 °С) и образует мало газов (260—280 л/кг);
- дает сильный нагар.

### 3. БЕЗДЫМНЫЕ ПОРОХА

Среди многочисленных взрывчатых и бризантных веществ бездымный порох имеет сравнительно простое химическое строение.

В обиходе бездымные пороха делят на пироксилиновые и нитроглицериновые. Химики их называют коллоидными порохами и делят их в зависимости от характера растворителя на:

- пороха на летучем растворителе;
- пороха на трудно летучем растворителе.

Бездымные пороха применяются в качестве боевых зарядов огнестрельного оружия: пироксилиновые пороха — главным образом в патронах стрелкового оружия, нитроглицериновые, как более мощные, — в минах и снарядах.

Пироксилин получается в результате обработки клетчатки (древесины, ваты, льна, пеньки и т. п.) смесью азотной и серной кислот, а нитроглицерин — путем обработки глицерина азотной и серной кислотами.

Нитроглицериновый порох изготавливается из смеси пироксилина и нитроглицерина.

Нас больше интересует пироксилиновый порох, как основа боеприпасов для стрелкового оружия.

Пироксилин, как уже отмечалось, относится к бризантным взрывчатым

веществам, которые характеризуются очень большой скоростью разложения и разрушительным, дробящим действием газообразных продуктов. Для уменьшения бризантности и превращения в порох пироксилин обрабатывают растворителями. Пироксилин под действием растворителя набухает и частично растворяется. Его волокнистое строение при этом в какой-то степени нарушается, и он превращается в тестообразную пластичную массу, способную принять требуемую форму, что представляет особую ценность.

При удалении летучего растворителя масса становится твердой роговидной, она медленно сгорает концентрическими параллельными слоями. То, что горение пороха происходит параллельными слоями, подтверждается опытами, а также и тем, что иногда при стрельбе коллоидными порохами из канала ствола орудия выбрасываются несгоревшие зерна, сохранившие первоначальную форму.

Исходя из положения, что пороховое зерно горит параллельными слоями, можно определить зависимость сгоревшей массы пороха от скорости горения, от поверхности горения и от плотности пороха.

Допустим, что первоначальные размеры зерна прямоугольной призматической формы равны  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ; после промежутка времени горения  $t$ , при условии, что зерно горит концентрическими слоями, размеры его уменьшились на  $le$ , где  $e$  — толщина сгоревшего слоя за время  $t$ .

Если первоначальный объем зерна равнялся

$$V_0 = abc,$$

### Бездымные пороха

то к концу горения времени  $t$  объем зерна будет равен

$$V_t = (a - le)(b - le)(c - le).$$

Следовательно, за промежуток времени  $t$  сгорит следующий объем вещества

$$V_{\text{сгор}} = abc - (a - le)\phi - le(c - le).$$

После преобразования имеем

$$V_{\text{сгор}} = (2ab + 2ac + 2bc)e - (4a + 4b + 4c)e^2 + e^3.$$

При горении пороха за короткий промежуток времени  $t$  и при незначительной скорости горения толщина сгоревшего слоя  $e$  будет незначительна, поэтому вторым и третьим членами в последнем выражении можем пренебречь; тогда объем сгоревшего пороха будет равен

$$V_{\text{сгор}} \approx (2ab + 2bc + 2ac)e.$$

Так как вес тела пропорционален его объему и удельному весу вещества, то весовое количество сгоревшего пороха, которое обозначим  $v_f$ , будет равно

$$v_f = (2ab + 2bc + 2ac)e\gamma,$$

где  $\gamma$  — удельный вес пороха.

Выражение  $(2ab + 2bc + 2ac)$  представляет поверхность зерна пороха. Примем промежуток времени горения, равным единице:  $t = 1$ , тогда толщина сгоревшего слоя пороха  $e$  будет равна численно скорости горения.

Можно сделать вывод, что весовое количество сгоревшего пороха за определенный промежуток времени пропорционально поверхности зерна, скорости горения и удельному весу пороха.

На основании этого заключения, пользуясь которым можно изменять ха-

рактер давления в канале ствола, отметим следующее. В процессе горения пороха газообразование может быть увеличено или за счет последовательного увеличения скорости горения пороха, или за счет последовательного увеличения поверхности горения пороха, или за счет последовательного увеличения и скорости и поверхности горения пороха совместно.

### Формы зерен пороха

Увеличение поверхности горения пороховых зерен можно получить за счет соответствующей формы и размеров пороховых зерен.

Зерна бездымного пороха могут иметь форму шара, куба, пластинки, цилиндра, кольца, одноканальной или многоканальной трубки, многоканального куба или цилиндра.

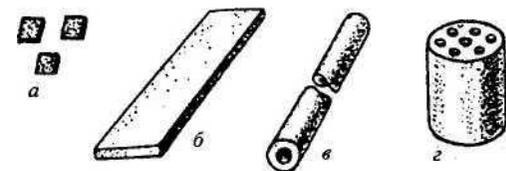
Очевидно, что при разной форме зерна по мере его сгорания поверхность будет изменяться в различной степени.

Разберем некоторые формы пороховых зерен.

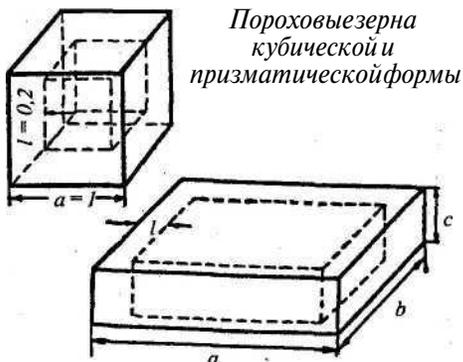
При шаровой форме зерна поверхность горения резко уменьшается, а следовательно, и образование газов в начале горения происходит значительно быстрее, чем к концу горения, следовательно, такая форма зерна приведет к резкому возрастанию давления газов в начале выстрела, т. е. к увеличению максимального давления.

Кубическая форма порохового зерна. Рассмотрим пример.

Допустим, что длина ребра  $a$  равна 1. Скорость горения такова, что разложение зерна проникает на глубину 0,1 мм в единицу времени.



Формы зерен бездымного пороха:  
а — пластинки; б — лента; в — трубка;  
г — цилиндр с семью каналами



Пороховые зерна кубической и призматической формы

Первоначальный объем порохового зерна равен

$$\omega_0 = a^3 = 1^3 = 1 \text{ мм}^3,$$

к концу первой единицы времени горения объем будет равен

$$\omega_1 = (a - 0,2)^3 = 0,8^3 = 0,512 \text{ мм}^3,$$

следовательно, за первую единицу сгорает следующий объем

$$\omega_0 - \omega_1 = 0,488 \text{ мм}^3,$$

который составляет 48,8 % от первоначального объема зерна.

За вторую единицу времени горения процент сгоревшего вещества определим из формулы, которая составлена на основании предыдущего рассуждения:

$$\frac{(a-0,2)^3 - (a-0,4)^3}{1} \cdot 100 = \frac{0,512 - 0,216}{1} \cdot 100 = 29,$$

В течение третьей единицы времени сгорит

$$\frac{(a-0,4)^3 - (a-0,6)^3}{1} \cdot 100 = \frac{0,216 - 0,064}{1} \cdot 100 = 15,;$$

В течение четвертой единицы времени сгорит

$$\frac{(a-0,6)^3 - (a-0,8)^3}{1} \cdot 100 = \frac{0,064 - 0,008}{1} \cdot 100 = 5,6\%.$$

и в течение пятой единицы времени сгорит

$$\frac{(a-0,8)^3 - 0}{1} \cdot 100 = \frac{0,008}{1} \cdot 100 = 0,80\%.$$

Из примера видно, что порох кубической формы дает резкое уменьшение поверхности горения, так как за первую единицу времени сгорело 48,8 %, а за последнюю — 0,8 %.

*Цилиндрическая форма порохового зерна*

Рассмотрим пример: диаметр цилиндра  $d = 1$  мм, длина цилиндра  $H = 20$  мм, скорость горения — 0,1 мм в единицу времени, т. е. в течение единицы времени все линейные размеры уменьшатся на 0,2 мм.

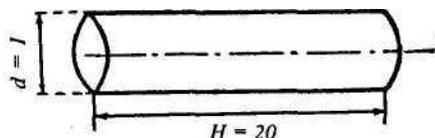
Первоначальный объем цилиндра равен:

$$\omega_0 = Hn\pi^2 = 20 \times 3,14 \times 0,25 = 15,7 \text{ мм}^3.$$

За первую единицу времени длина цилиндра уменьшится на 0,2 мм, а радиус на 0,1 мм. Тогда

$$\omega_1 = 19,8 \text{ мм}^3 \quad r_1 = 0,4 \text{ мм}$$

$$\omega_0 - \omega_1 = 19,8 \times 3,14 \times 0,16 = 9,95 \text{ мм}^3$$



Пороховое зерно цилиндрической формы

Сгоревший объем равен

$$\omega_0 - \omega_1 = 15,7 - 9,95 = 5,75 \text{ мм}^3.$$

В процентах

$$\frac{5,75}{15,7} \cdot 100 = 36,6\%.$$

В течение второй единицы сгорит

$$\frac{Hr^2}{1} \cdot 100 = \frac{3,168 - 1,764}{1} \cdot 100 = 28,1\%$$

В течение третьей единицы времени сгорит

$$\frac{H_2r_2^2 - H_3r_3^2}{Hr^2} \cdot 100 = \frac{1,764 - 0,776}{5} \cdot 100 = 19,8\%.$$

В течение четвертой единицы времени сгорит

$$\frac{H_4r_4^2 - H_5r_5^2}{Hr^2} \cdot 100 = \frac{0,776 - 0,192}{5} \cdot 100 = 11,7\%.$$

В течение пятой единицы времени сгорит

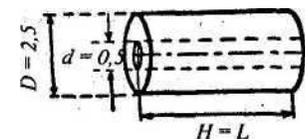
Цилиндрическая форма зерна имеет некоторые преимущества сравнительно с кубической, потому что уменьшение поверхности горения происходит несколько медленнее.

Проводя подобные расчеты для ленточной и трубчатой форм порохового зерна), можем составить табл. 2.1.

Результаты более широких расчетов приведены в табл. 2.2.

Из таблиц видно, что худшие результаты дает порох кубической формы, так как поверхность горения зерна в течение

Пороховое зерно ленточной формы



Пороховое зерно трубчатой формы

Таблица 2.1

Время горения пороховых зерен в зависимости от их форм

Время горения пороховых зерен разных форм	1	2	3	4	5	Средний процент уменьшения
Кубическая	48,8	29,6	15,2	5,6	0,8	12
Цилиндрическая	36,6	28,1	19,8	1,17	3,8	8,2
Ленточная	28,5	24,2	19,9	15,8	11,7	4,3
Трубчатая	24	22	20	18	16	2
Сферическая	20,4	20,2	20	19,8	19,6	0,2

Таблица 2.2

## Влияние формы порохового элемента на процесс горения

Формы элемента	Размеры порохового элемента	Отношение наружной поверхности к объему	Отношение наружных поверхностей в конце и начале горения
Шар	о	6,00	0,00
Куб	1x1x1	6,00	0,00
	nхnхn	71х6,00	0,00
Прут	4x1x1	4,50	0,00
	100x1x1	4,02	0,00
Пластинка	4x4x1	3,00	0,38
	10x10x1	2,40	0,68
Лента	100x4x1	2,52	0,59
	100x10x1	2,22	0,80
Кольцо	a	2,50	0,60
	$\sqrt[3]{\frac{a^3}{1+2}}$	2,20	0,82
Трубки	$100 \cdot \frac{a}{a^2+2}$	2,02	0,98

ние времени горения резко уменьшается и т. д.

То, что порох горит параллельными слоями, позволяет за счет изменения толщины горящего слоя регулировать время сгорания порохового зерна. Пороховому зерну придают такую форму, при которой толщина пороховых зерен относительно других размеров очень мала.

Путем изменения геометрической формы порохового зерна и химического состава пороха регулируют количество газов, образующихся в единицу времени.

## Поверхности горения пороха

Одним из наиболее действенных способов регулирования скорости газообразования при выстреле является

развитие поверхности порохового зерна, обуславливающее изменение ее во время горения, так как количество газов, которые образуются в единицу времени при горении зерен пороха, пропорционально их горячей поверхности.

Чем меньше изменяется отношение наружной поверхности к объему при выстреле, тем равномернее происходит сгорание к концу.

Чем быстрее падает это отношение, тем больше различие в образовании газов в начале и конце горения.

В процессе горения пороха одного и того же состава в зависимости от его формы горячей поверхности, а следовательно, и количества газов, образующихся в единицу времени, могут уменьшаться, оставаться постоянными или увеличиваться. Поэтому пороха разделяются на пороха с депрессивной

поверхностью горения; пороха с постоянной поверхностью горения; пороха с прогрессивной поверхностью горения.

Пороха, поверхность зерен которых уменьшается по мере их сгорания, называются порохами с депрессивной поверхностью горения {депрессивной формы}.

Математически это можно выразить

где  $S$  — поверхность пороха в конце горения;  $S_0$  — поверхность пороха в начальный период горения.

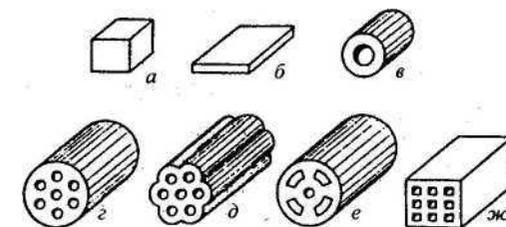
$$S$$

Отношение  $y$  называется характеристикой геометрической прогрессивности, или прогрессивностью формы. Наиболее депрессивными являются шаровая, кубическая и цилиндрическая (при высоте цилиндра, равной его диаметру) формы. Эти формы пороховых зерен дают наиболее резкое убывание поверхности зерна, и в конце горения поверхность их равна нулю (см. также табл.2.2).

Менее депрессивной является ленточная форма порохов. Чем больше длина и ширина по сравнению с ее толщиной, тем менее резко изменяется поверхность ленты при горении.

Малая растянутость лент для стрелкового оружия диктуется условиями заряжания и массового снаряжения на заводах, а также специфической для стрелкового оружия формой гильзы (большая бутылочность).

Частным случаем ленточного пороха является применяемый для зарядов стрелкового оружия пластинчатый порох.



Депрессивные (а—в) и прогрессивные (г—ж) пороха

Каждое из зерен пластинчатого пороха горит параллельными слоями по всей поверхности, т. е. зерна пластинчатого пороха по мере сгорания становятся все тоньше и тоньше, пока горящие поверхности не встретятся; одновременно несколько уменьшается и ширина зерна.

Кольцевая форма при определенных условиях считается равноценной ленточной.

Из всей этой группы порохов самыми выгодными считаются ленточные и пластинчатые.

Пороха, поверхность зерен которых при горении остается постоянной, называются порохами с постоянной поверхностью горения.

$$\text{Для них } \frac{S}{S_0} = 1.$$

Примером может служить трубка с одним каналом или цилиндр с одним каналом. Зерна такого пороха горят одновременно и внутри и с внешней поверхности. Уменьшение наружной поверхности горения возмещается увеличением внутренней поверхности, так что общая горящая поверхность остается постоянной на время горения, если не принимать во внимание горение трубки с концов.

Попробуем убедиться в этом. Возьмем трубку с наружным радиусом  $R$ ,

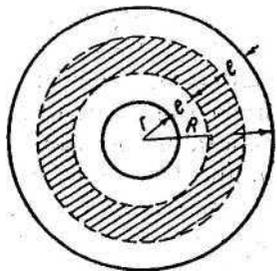


Схема горения трубчатого пороха

внутренним  $r$ , длиной  $l$  и предположим, что она с торцов не горит. Тогда

$$S_0 = 2nRl + 2nr l = 2nl(R + r).$$

Если через некоторое время порох снаружи и изнутри сгорит на одну и ту же толщину  $e$ , то новая поверхность при той же длине трубки будет

$$S = 2n(R - e)l + 2n(r + e)l = 2nl(R - e + r + e) = 2nl(R + r).$$

Если обратимся к табл.2.1, то увидим, что трубчатый порох выбранных размеров в течение каждой единицы времени горения уменьшает поверхность горения на 2 %, а порох с длиной в 10 раз большей уменьшает поверхность горения только 0,2 %, поэтому можно принять, что поверхность горения длинного трубчатого пороха в процессе горения остается почти неизменной.

Однако чтобы пороха при сгорании в канале ствола давали наименьшее максимальное давление, необходимо, чтобы они в процессе сгорания в каждую единицу времени выделяли всевозрастающее количество газообразных продуктов.

Пороха, поверхность горения которых по мере их сгорания увеличивается, называются *порохами с прогрессив-*

ной поверхностью горения или *прогрессивной формы*.

Для них  $\tau \sim \frac{S}{V} > 1$

Прогрессивность горения достигается двумя путями:

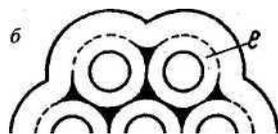
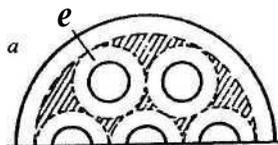
- приданием пороху такой формы, которая при сгорании его увеличивает горящую поверхность;
- приданием пороху таких свойств, которые замедляли бы скорость горения в начале и увеличивали в конце.

Прогрессивность горящей поверхности достигается увеличением числа каналов.

Так, если мы рассмотрим 7-канальный американский порох, то в нем центральный канал компенсирует убывание наружной поверхности, а остальные 6 каналов, расположенные по окружности в углах правильного шестиугольника, дают приращения поверхности горения.

Относительно этих порохов отметим следующее:

- прогрессивно они горят до встречи их поверхностей, дальше наступает их



Схемы горения прогрессивных порохов:

а — американского семиканального;

- б — фигурчатого; в — пороха Киснемского

распад и они горят дегрессивно. Так, для 7-канального пороха  $\tau = 1,38$ ;

- прогрессивно сгорает только 85 %, а 15 % горит дегрессивно;
- квадратные каналы горят по окружности.

Прогрессивное горение пороха может быть достигнуто введением в наружные слои одноканального порохового зерна флегматизаторов.

В бездымные пороха могут добавляться стабилизаторы — для предохранения от химического разложения при длительном хранении; флегматизаторы — для замедления скорости горения внешней поверхности зерен пороха;

графит — для достижения сыпучести и устранения слипания зерен.

Изменение количества газов, образующихся при горении пороха в единицу времени, оказывает влияние на изменение давления газов и скорость движения пули по каналу ствола. Поэтому для каждого вида патронов и оружия подбирается пороховой заряд определенного состава, формы и веса.

В зарядах стрелкового оружия применяют мелкозернистые высокоазотные пироксилиновые пороха. Такие пороха имеют высокую гравиметрическую плотность и допускают плотность заряжания 0,85—0,95 кг/дм<sup>3</sup>.