

ОТКУДА ЭНЕРГИЯ?

Кандидат технических наук
Владислав ДВОРЯНИНОВ,
Алексей ЩЕКИН, инженер
ФНПЦ ФГУП «ЦНИИТОЧМАШ».

В 1998 году была опубликована статья доктора технических наук, академик Российской академии ракетных и артиллерийских наук В. В. Яворского «Энергия “из ниоткуда”» («Наука и жизнь» № 10, 1998 г.). В ней сообщалось о непонятном дисбалансе между кинетической энергией оперённого подкалиберного снаряда (ОПС) и тепловой энергией пробиваемой этим снарядом брони. Не ставя под сомнение закон сохранения энергии, автор задал вопрос: откуда берётся «лишняя» энергия?

Объяснить физическую суть явления взялись доктор технических наук, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана М. К. Марахтанов и А. М. Марахтанов («Наука и жизнь» № 4, 2002 г.). Они не только объяснили, по их мнению, эту суть, но и защитили её тремя патентами РФ — двумя совместными (№ 2145147 от 2000 г. и № 2296168 от 2006 г.) и патентом № 2260779 от 20.09.2005 г. на «Способ получения энергии из металлических материалов» на имя М. К. Марахтанова. Кроме того, они опубликовали десяток статей, популярных якобы открытий ими эффект взрыва металлов, рассматривая металл в качестве источника энергии.

По их мнению, причина появления «излишней» тепловой энергии в броне заключается в том, что при ударе металлического сердечника снаряда или пули в броню электроны начинают двигаться относительно ионов кристаллической решётки материала сердечника, их способность «склеивать» ионы уменьшается и снаряд взрывается за счёт кулоновского расталкивания ионов. При этом мощность взрыва металла в сотни раз больше, чем у тротила. В патенте № 2260779 утверждается, что для реализации эффекта взрыва металла мишень необходимо бомбардировать со скоростью V в момент встречи с мишенью:

$$V \geq 10^4 \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \xi}{A}},$$

где ξ — энергия металлической связи материала снаряда; A — его атомная масса; f — коэффициент эффективности удара.

При этом, по данным автора патента, минимальные скорости удара, при которых начинается выделение энергии взрыва металлов, равны: свинец — 500 м/с, железо (сталь) — 1200 м/с, уран — 1400 м/с.

Негативная оценка предлагаемого способа извлечения энергии из металлов дана

в статье доктора физико-математических наук В. И. Тельнова («Наука и жизнь» № 7, 2008 г.). Правда, разрешение проблемы появления энергии «из ниоткуда» он адресовал артиллеристам.

Попытаемся объяснить загадку с некоторыми предварительными замечаниями по патенту № 2260779:

1. В патенте отмечается, что величину коэффициента эффективности удара f «определяют экспериментально». Однако никаких экспериментальных данных в обоснование величины этого коэффициента не приводится. Более того, вычисленная автором минимально необходимая скорость удара для стали ($V = 1200$ м/с) больше скорости модельных снарядов-ударников (1000 м/с при массе ударника 88,5 г), приведённой в статье Яворского, при которой был зафиксирован 20%-ный избыток энергии.

2. В патенте дан снимок из книги «Динамика удара» с комментарием автора патента: «На рис. 3.8 ... видно выделение энергии при высокой скорости соударения. Энергия выделяется в виде светящегося облака продуктов взрыва... Если преграда сделана из твёрдого металла, то происходит превращение материи: свинец превращается в световое излучение».

Между тем в первоисточнике не говорится о превращении материи в свет, а лишь обращается внимание на световую вспышку при ударе пули в алюминиевую броню: «Часть начальной энергии превращается в свет, который мешает наблюдать явление [при помощи] обычных оптических методов». Следует добавить, что при ударе пуль (снарядов) со свинцовыми и стальными сердечниками в броню со скоростями встречи 500 и 1200 м/с соответственно и даже большими, взрыва металлов не наблюдается. Например, в той же «Динамике удара» пятью страницами ранее на рис. 3.5 приведена фотография мишеней в разрезе после их пробоя стальными стержнями со скоростями удара V_s от 1200 до 1800 м/с.

Там же даётся описание этого эксперимента: «На рис. 3.5 показано, как разрушаются твёрдые тела при соударении с артиллерийскими скоростями при больших углах между нормалью к плоскости мишени и направлением полёта снаряда. Плиты катаной гомогенизированной броневой стали (RHA) толщиной 25,4 мм крепились под углом 60° к направлению стрельбы. В них стреляли стержнями из инструментальной стали S7 массой 65 г, а их удлинение (L/D) равнялось 10. При попадании в мишень с предельной баллистической скоростью (т.е. с минимальной скоростью, необходимой для пробивания мишени навывлет), равной в данном случае 1202 м/с... стержень полностью разрушался и застревал в мишени... С ростом скорости соударения всё большая часть стержня оставалась неразрушенной, а повреждения мишени становились всё более ярко выраженными. С ростом скорости соударения часть снаряда, не разрушившаяся после соударения (остаточная масса), увеличивалась и достигла максимума при скорости

соударения, превышавшей баллистический предел примерно на 20%. При дальнейшем увеличении скорости соударения остаточная масса снаряда убывала».

Как видно, никакого взрыва металла стержня не наблюдается не только при скорости соударения 1202 м/с (при которой стержень не взорвался, а застрял в мишени), но и при скоростях до 1800 м/с.

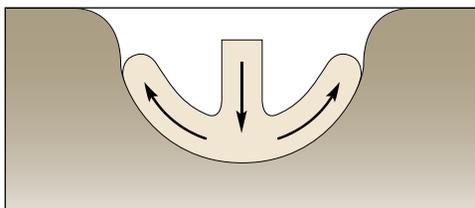
В работе «Баллистические установки...» на с. 216—235 отмечается подобие высокоскоростного (1380 м/с) и низкоскоростного (870 м/с) процессов соударения металлических тел не только по конечной глубине каверн, но и по скоростям внедрения, а также возможность предсказания глубины каверн по кривым моделирования при более высоких скоростях соударения. Например, при скоростях встречи до 6 км/с стального шара с массивной свинцовой мишенью. Там же даётся определение «теплого взрыва» — мгновенного испарения металлов соударящихся тел: «Скорости удара, которые должны приводить к возникновению этого явления, весьма высоки. Для различных металлов... они лежат в интервале 10—20 км/с».

Это скорости метеоритов, о которых повествует М. К. Маракханов. Однако природа «теплого взрыва» иная и не приводит к «взрыву металлов» вследствие значительно меньших скоростей соударения.

Не имеет отношения к «взрыву металлов» и процесс пробивания брони снарядами из сплавов урана. В. И. Тельнов объяснил причины появления «излишней» энергии при горении разогретых осколков подобных снарядов после соударения с броней: «Здесь имеют место два источника энергии: горение пороха и горение (окисление) металла при взаимодействии с воздухом. Второй эффект очень важен для урана, поскольку уран загорается на воздухе при температуре 150—175°C. После прохождения брони урановый снаряд за счёт внутреннего давления разлетается на мелкие кусочки и порядка 70% его сгорает... Кинетическая энергия 1 кг снаряда при скорости 1500 м/с составляет 1125 кДж, а энергия, выделяющаяся при сгорании такого количества урана..., около 5000 кДж, что в 4,5 раза больше кинетической энергии!».

Таким образом, ни взрыв метеоритов, ни пирофорный эффект бронебойных снарядов из обеднённого урана, ни многочисленные эксперименты не подтверждают эффекта взрыва металла при артиллерийских скоростях соударения. Откуда же берётся излишняя тепловая энергия? Проанализируем рассматриваемую проблему с использованием известных данных.

Механизм разрушения оперённых подкалиберных снарядов (ОПС) хорошо известен. Например, академик А. Я. Прохоняков в книге «Проникание» описывает процесс удара бойков с начальными скоростями до 2 км/с: «При проникании боёк приходит в пластическое состояние, сильно деформируется и начинает течь... Для обычных металлов эта наибольшая скорость, по-видимому, имеет порядок 2 км/с. Процесс деформирования



Илл. 1. Цилиндрический боёк после удара деформируется, принимая форму гриба. Из книги «Проникание».

характеризуется тем, что боёк принимает грибообразную форму, показанную на рис. 3.2. По мере проникания происходит укорочение ножки этого «гриба» за счёт растекания материала бойка» (илл. 1).

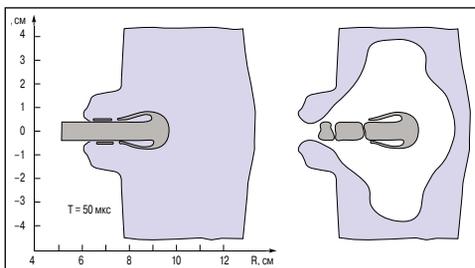
Это подтверждают и экспериментальные данные. На илл. 2 приведён рис. 3.7 из книги «Динамика удара», который комментируется следующим образом: «При ударе снаряда из пластичного материала по толстой мишени со скоростями более 1 км/с материал снаряда испытывает гидродинамическую эрозию и растекается по стенкам канала, образуящегося в мишени, в обратном направлении... Диаметр образующейся полости оказывается гораздо больше диаметра проникающего тела».

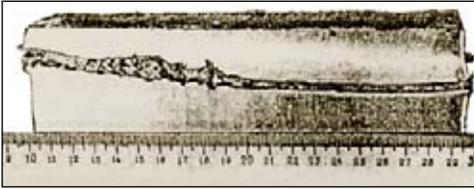
Растекание разогретого материала снаряда по стенкам канала в обратном направлении сопровождается интенсивным трением и дополнительным нагревом мишени: «При больших скоростях деформирования (при трении сталь по стали), соответствующих ударной скорости нагружения, будет практически мгновенный нагрев до температур плавления» («Трение и смазка твёрдых тел», с. 135—136).

То же — в «Динамике удара» на с. 120: «[При пробивании мишеней с образованием пробки] работа пластической деформации почти полностью превращается в тепло, которое из-за высоких локальных скоростей деформации не успевает распространиться на существенное расстояние от зоны пластических деформаций. Например, в Отчёте лаборатории баллистических испытаний указывается, что скорости деформации сдвига в полосах адиабатического сдвига достигают 10^7 с⁻¹, а температура 10^5 °C».

Экспериментально подтвердили горение материала мишени из алюминиевого сплава

Илл. 2. Снаряд из пластичного материала растекается по стенкам канала, образуя обширную полость.





Илл. 3. Профиль сквозной пробоины в дюралюминиевой плите. Снаряд входил в плиту слева.

и плавление головной части разрушающегося стального ударника при проникании в стальную мишень исследования ЦНИИТОЧМАШа и Тульского государственного университета (инженер Б. В. Сапрыкин, кандидат физико-математических наук В. Л. Баранов и др.) в конце 1980-х годов.

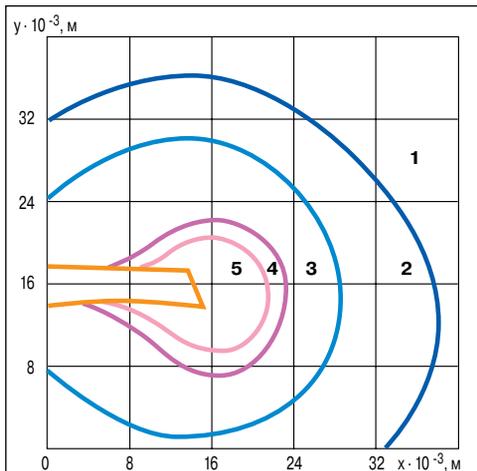
Метание моделей ОПС производилось из пороховой баллистической установки. В исследованиях использовали модели из стали 60С2, закалённые до твёрдости 50—56 НРС, массой 11 г, диаметром 4,7 мм и с относительным удлинением $L/D = 22$. Мишенями служили монолитные плиты из алюминиевого сплава Д16Б толщиной 200 мм с твёрдостью 67—69 НВ и плиты из стали 3 толщиной 50 и 80 мм с твёрдостью 116—130 НВ. Ударная скорость варьировалась в пределах 588—1820 м/с.

Проведённые эксперименты дали интересные результаты:

1. При стрельбе по дюралюминиевым плитам в диапазоне скоростей соударения 600—1350 м/с диаметр пробиваемого отверстия практически равен диаметру пули. Стенки канала отверстия гладкие и чистые. При скоростях удара 1350—1800 м/с происходит интенсивное разрушение головной части ударника и горение материала преграды. Процесс пробоя состоит из двух фаз:

Первая фаза — разрушение головной части ударника. Профиль пробитого отверстия имеет волнистый рельеф, материал преграды частично сгорает. При несквозном пробое

Илл. 4. У вершины ударника возникает грушевидная область твёрдого металла. Цифры обозначают зоны различной твёрдости.



канал отверстия почти полностью заполняют продукты горения и мелкодисперсные частицы разрушенного материала ударника. При сквозном пробое (илл. 3) продукты горения и частицы ударника также частично остаются в пробоине.

Диаметр пробиваемого отверстия в этой фазе в 1,5—2 раза превышает диаметр ударника. Протяжённость первой фазы интенсивно возрастает до скорости 1650—1700 м/с, а далее стабилизируется и меняется незначительно.

Вторая фаза — движение пули в преграде со скоростью, меньшей скорости разрушения (1350 м/с). Горение материала прекращается, профиль пробиваемого отверстия гладкий, его диаметр равен диаметру ударника.

2. При стрельбе по плитам из стали 3 разрушение ударника начинается при меньших скоростях удара — примерно 1100 м/с. Глубина проникновения его в преграду монотонно возрастает вплоть до сквозного пробоя. При несквозном пробое стальной плиты ($V < 1470$ м/с) в преграде развиваются высокие температуры и происходит плавление металла. После остывания в окрестностях вершины ударника образуется так называемый белый слой — грушевидная зона металла с твёрдостью, недоступной в обычных условиях (порядка 54 НРС). Процесс пробоя сопровождается интенсивным свечением с обеих сторон мишени.

Таким образом, экспериментально установлено, что при пробое плиты из дюралюминия происходит его горение, в результате чего выделяется дополнительное тепло. Учитывая высокую температуру истекающего назад материала разрушенного ударника и значительный диаметр пробитого отверстия, гореть может не только алюминий, но и сталь. Это подтверждают наблюдения интенсивно светящихся факелов с обеих сторон стальной брони при их испытаниях на пробиваемость.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы:

Существование эффекта взрыва металла при артиллерийских скоростях соударения не подтверждают многочисленные исследования.

Одна из причин появления избыточной тепловой энергии в мишени — горение её материала.

Дополнительная тепловая энергия, сообщаемая мишени, не увеличивает пробивную способность пуль и снарядов.

ЛИТЕРАТУРА

Динамика удара / Пер. с англ. Зукас Дж. А., Николас Т., Свифт Х. Ф. и др. — М.: Мир, 1985.

Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях / Под ред. Златина Н. А. и Мишина Г. И. — М.: Наука, 1974.

Сагомоян А. Я. Проникание. — М.: МГУ, 1974.

Боуден Ф. П. и Тейбор Д. Трение и смазка твёрдых тел. — М.: Машиностроение, 1968.

Мосс Дж. А. Отчёт лаборатории баллистических исследований, США.