

# МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ БРОНЕПРЕГРАД

О. В. СВИРСКИЙ

*В годы войны мы были вовлечены в оборонную тематику. В частности, изучали действие немецких кумулятивных снарядов.*

Л. В. Альтшулер

С этим машинописным текстом меня познакомил в начале 1990-х гг. один из наших старейших сотрудников Арнольд Бадмаевич Сельверов. Титульный лист в документе отсутствовал, однако на первой его странице чернилами были вписаны фамилия и инициалы автора – Л. В. Альтшулер. Беглый просмотр показал, что текст содержит результаты самых первых экспериментальных исследований броневой способности действия кумулятивных зарядов, выполненных в институте Машиноведения АН СССР.

Из истории создания и развития кумулятивных боеприпасов известно, что артиллерийские снаряды с кумулятивным зарядом впервые были применены вермахтом на советско-германском фронте в 1941 г. Осенью того же года немецкий склад с такими снарядами был захвачен Советской армией. И уже в январе 1942 г. первый отечественный кумулятивный снаряд, разработанный на основе немецких снарядов и взрывателей, был принят на вооружение. Парадоксальность ситуации состояла в том, что практическое применение кумулятивных снарядов намного опередило текущий уровень знаний о физике происходящих процессов. Выражаясь точнее, систематические экспериментальные исследования отсутствовали полностью, а имеющиеся теоретические объяснения чрезвычайно высокого поражающего действия были основаны на неверных предпосылках.

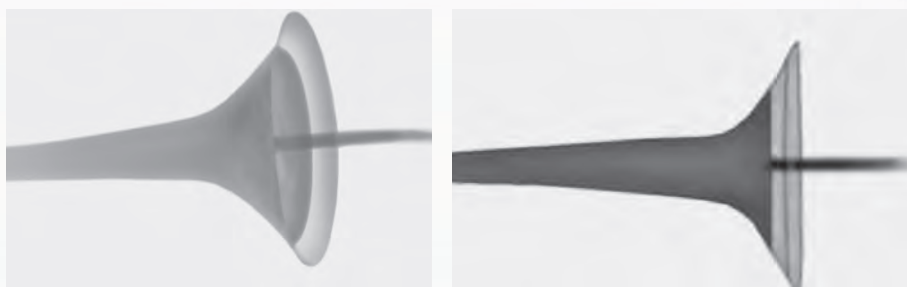
Так, по первоначальной «бронепрожигающей» гипотезе Г. П. Покровского энергия взрыва, передаваемая посредством теплопроводности кристаллической решетки металла преграды, приводила к ее диспергированию на отдельные атомы, то есть к плавлению и испарению металла.

Вторая, более поздняя, теория Покровского трактовала механизм внедрения как процесс одномерного сжатия материала преграды в направлении оси струи, происходящий под действием сверхвысоких давлений в миллионы атмосфер. Дальнейшая реализация аккумулированной упругой энергии должна была приводить к своеобразной детонации или вторичному взрыву самого металла.

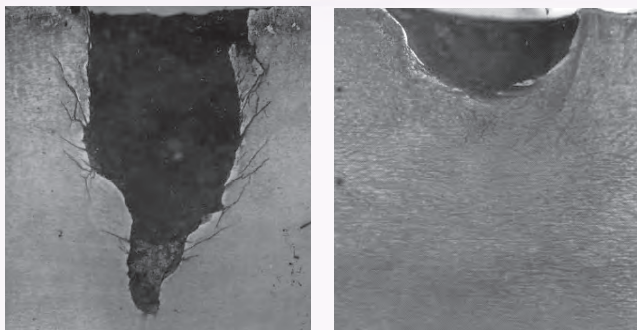
Согласно третьей теории (О. Е. Власов) считалось, что в направлении оси струи, по всей толщине преграды, мгновенно устанавливается одна общая скорость движения металла вперед. В дальнейшем импульс по радиусам диффундирует в стороны, вовлекая в движение окружающие слои металла. Увеличение глубины и радиуса пробойны происходит при этом до тех пор, пока силы вязкого взаимодействия превышают временное сопротивление срезу.

Л. В. Альтшулер с сотрудниками (М. П. Сперанская, Н. А. Дроздова) провел экспериментальную проверку имеющихся гипотез и более глубокие исследования по выявлению истинного характера разрушения и деформации металла кумулятивной струей.

Следует отметить, что приблизительно в то же время (в начале 1943 г.) В. А. Цукерманом были получены первые рентгенограммы металлической струи, формирующейся при взрыве кумулятивного заряда, и, следовательно, не-



Первые рентгенограммы формирования кумулятивной струи, полученные В. А. Цукерманом



Профили отверстий в бронепреграде, пробитых зарядами образца 1940-х гг.: с оболочкой кумулятивной выемки (слева) и без оболочки (справа)

которые достоверные представления о непосредственно действующем на броню объекта у Льва Владимировича имелись. Однако, даже импульсная рентгенография не позволяла заглянуть внутрь пробиваемой бронепреграды, и поэтому исследование механизма проникания требовалось провести гораздо более скромными экспериментальными средствами. В таких условиях определяющее значение имели искусство экспериментатора, логика планирования опытов и правильная постановка вопроса, на который следовало получить ответ.

Основной вопрос исследования был сформулирован следующим образом: за счет каких процессов в преграде образуется свободный объем, и где находится металл, ранее заполнявший пробойну.

Сначала были проведены опыты с измерениями, заключавшимися во взвешивании образцов мишени до и после взрыва и в определении объема полученных пробойн.

Потерянный образцом вес, деленный на плотность, давал объем потерянного металла («сгоревшего» или «взорванного» (по гипотезам Покровского), либо унесенного кумулятивной струей и продуктами взрыва). Отношение этого объема ко всему объему пробойны определяло связанный с механическими свойствами брони параметр, названный коэффициентом выброса «К».

Первые опыты с мишенями из алюминия, железа и мягкой стали дали для коэффициента выброса очень малые величины, порядка 10 %. Таким образом, было показано, что доля «сгоревшего» или «взорванного» материала преграды для этих металлов исключительно мала (либо отсутствует полностью).

Однако, последующие опыты с преградами из броневой стали показали, что с повышением твердости материала коэффициент выброса быстро растет, достигая значения 50–70 %.

Теперь необходимо было выяснить, где расположена область выброса в пробойне: в ее верхней части или на всем ее протяжении от верха до дна? Для ответа на этот вопрос были изготовлены специальные бронепакеты из шлифованных закаленных плиток, скрепленных по углам болтами. Каждая плита была взвешена до и после подрыва КЗ.

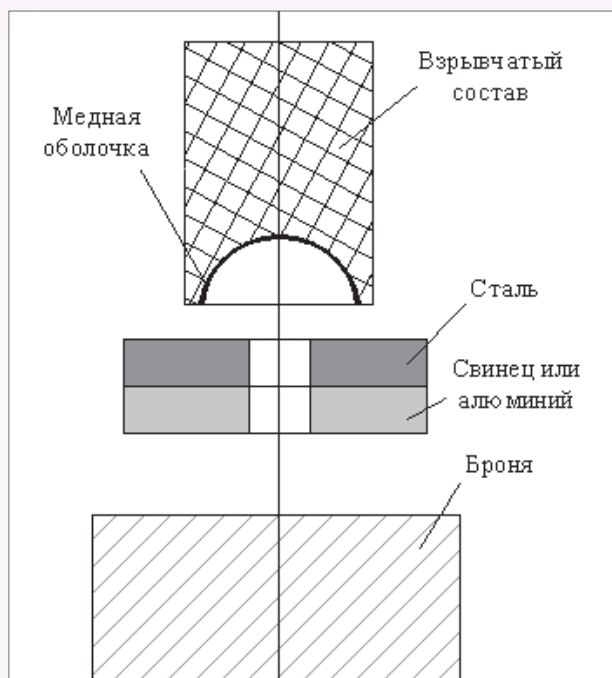
Сколько-нибудь значительная потеря веса имела место только в верхних пластинах, обращенных к заряду. Вся оставшаяся часть пробойны образовалась за счет пластической деформации металла.

Чтобы определить, куда и в каком направлении выбрасывается металл, был проведен следующий опыт. Между кумулятивным зарядом и броней устанавливался экран из пластичного материала (алюминий, свинец), служащий для улавливания осколков. Экран устанавливался на высоте 20 мм от брони. Сверху для защиты от непосредственного действия заряда экран был прикрыт стальной плитой, толщиной 12 мм. Экран и плита имели в центре 15-миллиметровое отверстие для свободного прохождения кумулятивной струи.

После опытов из свинцовых пластин извлекались застрявшие стальные осколки, а алюминиевые экраны были подвергнуты рентгенографированию, при этом на позитивном изображении непрозрачные для рентгеновских лучей стальные включения давали черные изображения, а вмятины, образованные отскокшими от экрана осколками, – белые пятна. Их величина отражает размеры осколков. Анализ результатов показал, что разрушение брони происходит достаточно крупными кусками, размером от 1 до 7 мм, выбрасываемых под углом  $45^\circ$  к поверхности мишени. При этом суммарная масса выброшенных осколков примерно соответствовала уменьшению массы бронепреграды.



Профили отверстий в составных бронепакетах



Постановка опытов по «улавливаю» выброшенного металла

В следующем опыте в образец мишени был ввинчен болт. Кумулятивный удар проходил вдоль оси болта. Осмотр мишени показал, что верхние 6 нарезов, попавшие в объем выброса, раздроблены и унесены продуктами взрыва. Оставшаяся часть болта сильно деформирована, а внутренняя нарезанная поверхность отверстия растянута в несколько раз, до размеров обычной несквозной пробоины.

При этом процесс шел настолько симметрично и равномерно, что по всей внутренней поверхности подрыва полностью сохранились вит-



Опыт с болтом – доказательство пластической деформации металла преграды

ки нарезки, покрывающей стенки пробоины по расходящейся спирали.

В результате проведенных экспериментальных исследований было убедительно показано, что основная часть объема внедрения обязана своим происхождением пластической деформации металла. Конечным результатом являются смещения металла вниз и в стороны, видимые на разрезах мишеней. Этот процесс позволяет компенсировать объем внедрения относительно небольшими степенями сжатия.

С увеличением твердости преграды пластическое вытеснение металла из зоны поражения дополняется процессом диспергирования (выброса) материала из передних слоев мишени.

Ничего похожего на выталкивание металла вперед в направлении движения струи, как это следует из теории Власова, экспериментально не было обнаружено. Ничем не подтвердились также «бронепрожигающая» и «взрывная» теории Покровского, так как ни в выброшенном металле, ни в слоях, примыкающих к пробоине, металлографический анализ не выявил сильных термических воздействий на структуру металла.

Результаты этой работы Л. В. Альтшулера были опубликованы в двух специальных отчетах и в закрытом сборнике «Труды ЦНИИ 48» № 1 (27) за 1947 г. Мне неизвестно, был ли знаком с ними М. А. Лаврентьев – отечественный создатель гидродинамической теории внедрения кумулятивной струи, известной с 1945 г. Во всяком случае, работа Льва Владимировича служит хорошим экспериментальным подтверждением этой теории.

В последнем разделе «Обсуждение результатов» рассматриваемого машинописного документа уже присутствует формула, полученная Лаврентьевым, и дается ссылка на более позднюю (1948 г.), но уже открыто опубликованную, аналогичную американскую работу Тэйлора. Таким образом, наш документ не может быть простым повторением закрытых отчетов, а является более поздней самостоятельной научной работой, обобщающей полученные результаты. Возможно, это – черновик статьи, предназначенной для открытой публикации, время для которой так и не наступило.

**СВИРСКИЙ Олег Владиславович** –  
заместитель директора ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ,  
лауреат Государственной премии РФ