

УДК 623.451

## ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРОБИВАНИЯ СТАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ ПУЛЕЙ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО НАРЕЗНОГО ОРУЖИЯ

© 2019 С.Е.Алексенцева, И.В.Захаров

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 01.08.2019

В статье изложены результаты исследования критических условий пробивания стальной пластины при обстреле пулями огнестрельного оружия. Исследован процесс разрушения стальной пластины в области пробивания с образованием чашевидной вырубке – «пробки» при соударении пули с преградой и выносе её вторичным осколком. Исследование режима пробивания бронепреграды с образованием пробки имеет значимость для экспертно-криминалистических подразделений МВД с целью идентификации оружия с максимальным количеством факторов идентификации на вырубках в отличии от сквозных пробитий, а так же для разработки методов моделирования процесса бронепробития, формирования расчётных зависимостей и разработки схем эмпирических исследований. В работе описана методика экспериментального исследования по пробитию мишени на специально разработанном стенде с дистанционным спуском. Для испытаний выбраны несколько основных классов огнестрельного оружия, для которых показана область критических условий пробития мишени с образованием чашечки. Эксперименты по пробитию образца с образованием вышибной чашечки проведены для разных калибров и типов пуль классов короткоствольного и длинноствольного огнестрельного оружия. Сделан анализ процесса деформации и разрушения материала мишени и пули в результате процесса образования пробки. Исследован процесс образования пробки при лобовом и боковом соударении сердечника пули со стальным и свинцовым сердечником с мишенью. Сделана оценка скоростных и энергетических режимов в процессе образования вырубке и условий возможности неполного процесса образования пробки. *Ключевые слова:* огнестрельное оружие, патрон, пуля, дульная скорость, соударение, пробивание мишени, критические условия, образование пробки

*Работа выполнена на основе материалов проекта для МВД Самарской области.*

*На проект получена положительная рецензия ФКУ НПО «СТУС» МВД России*

*от 03.03.2016 № 28/НПО- 1288.*

Современное напряженное военно-политическое состояние в мире разворачивает градиент научных исследований в область создания новых систем защиты, в том числе от обычных видов вооружений и от пуль огнестрельного нарезного оружия. В основном актуальность данной работы заключается в получении информации о характере пробивания преграды и методам идентификации оружия по результатам выстрела в случаях несанкционированных актов [1].

Целью данной работы является исследование критических условий пробивания стальной пластины пулей огнестрельного оружия с образованием вырубной чашечки или «пробки». На вырубленной пробке сохраняется вся информация о характеристиках оружия по своду максимального количества идентификационных факторов, режимам выстрела. Пуля переносит физические микрочастицы идентификационных следов того оружия, из которого была выпущена:

остатки ружейного масла с канала ствола; остатки копоти, сажи и гари сгоревшего пороха, микрочастицы стертых металлов нарезов и полей ствола, кроме того, частицы металла оболочки самой пули, свинцового вкладыша и стальных сердечников. При ударе в преграду пуля переносит на неё всю эту информацию. На соскобах сквозных пробитий идентификационных следов значительно меньше. В выбитой чашечке максимальное количество следов – пуля, прежде чем вытянуть чашечку, сначала контактирует с ней, проворачивается, давая инерционные сбросы идентификационных микро масс с поверхности пули в чашечку. Максимальное количество следов в чашечках-вырубках оставляют безоболочечные свинцовые пули малокалиберных винтовок с патронами 5.6x15 мм, 5.6x25мм, раритеты любых мощностей с пулей безоболочечного чистого свинца (при снятии налета испарившегося свинца с идентификационными следами присутствия). Оболочечные, составные пули по пути сбрасывают оболочки с идентификационными следами ствола, оставляя индикацию конструктивных элементов самой пули, патрона конкретной заводской пар-

*Алексенцева Светлана Евгеньевна, доктор технических наук, профессор кафедры технологии твёрдых химических веществ. E-mail: ale-kswave@yandex.ru*

*Игорь Владиславович Захаров, ведущий инженер кафедры технологии твёрдых химических веществ.*

тии. Следы с образцов чашечек выявляются в лабораториях МВД, на частотно-спектральных анализаторах, сводятся в характеристику параметрических данных именно и только того оружия, ствола, из которого был произведён выстрел. Поэтому актуален вопрос исследования образования вырубков.

Кроме того, на основе критических условий о пробивании преграды с образованием вырубки или без образования вырубки излагаются теоретические положения, методики расчетов и расчетные зависимости; формируется современный подход к решению научно-технических задач – моделированию процесса бронепробития.

Также данные подходы применимы в исследованиях пробок-вырубок как вторичных поражающих осколков для пластин бронезилов, имеющих значительное влияние на величину запреградного эффекта, и для исследования пробок как вторичных поражающих осколков при пробитии ветролетных кабин с поражением летного состава.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследованы фундаментальные процессы кинетических явлений разрушения материалов в узком диапазоне факторов воздействия высоких температур до нескольких сот градусов и скоростей соударения пуль огнестрельного оружия массой до 9.6 г со скоростью 820 м/с, с формированием при соударении радужных цветов температурной побежалости мгновенного разогрева.

Проведены экспериментальные исследования на испытательном стенде с дистанционным спуском. Обстрел произведен по преграде из стали Ст.3 пулями с дистанции 5 м [2]. Основным рабочим типом оружия приняты снайперская винтовка Драгунова СВД 7.62 мм, пистолет Макарова 9 мм, автомат Калашникова АКМ 7.62 мм. Начальная скорость пули определялась по хронографу "COMPETITIVE EDGE DYNAMICS (CED) Millennium". Проведены серии экспериментов, при которых образец мишени выполнен из стали толщиной 2, 4, 6 мм - индивидуальные пластины и в пакете из разнесённых на расстояние 40 мм друг от друга и сваренных в один жёсткий каркас пластин. Основным фактором в проведенных экспериментах оценивался процесс образования пробки из преграды при ударе пуль. Анализ состояния преграды, процесс деформации пули и преграды проведен визуально по типу и характеру деформации и параметрических замеров, геометрические характеристики оценивались с применением стандартных измерительных инструментов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании процессов пробивания мишени различают вид пробития с вырубанием пробки или проколом, в том числе пластическим продавливанием разного рода. Данные виды пробития необходимо учитывать в основном в расчетных методиках, т.к. расчеты зависят от вида бронепробития и касаются какой-либо относительно узкой области применения условий удара.

Так, рассматриваются 3 схемы ударного взаимодействия с недеформируемым сердечником [3, 4]. При этом расчет предела сквозного пробития зависит от схемы разрушения преграды: в случае «срезания пробки» авторов Нобля, Березина К.А., по схеме «прокола» - Эйлера, Жакоб де Марра и др. Описаны процессы бронепробития и по комбинированной схеме.

Физическое условие пробивания с образованием пробки или без нее дано в работе [4]. Чтобы процесс пробития протекал в форме срезания пробки, необходимо условие, при котором усилие вдавливания было бы больше усилия срезания или в аналитическом виде отношение толщины преграды  $b$  к калибру боеприпаса  $d$  должно быть менее 1.25, т.е.  $b/d < 1.25$ . Оба вида разрушения возможны при равенстве отношения толщины преграды к калибру 1.25, т.е.  $b/d = 1.25$ .

В работе были использованы некоторые основные классы из наиболее часто используемого огнестрельного нарезного оружия - пистолеты Макарова (ПМ) и Тульский Токарева (ТТ), автомат Калашникова (АКМ) и снайперская винтовка Драгунова (СВД) и её гражданский вариант «Тигр», самозарядный карабин Симонова (СКС), армейский карабин системы Мосина (КО-44), охотничьи карабины «Сайга», «Барс» и др., а также стрелковые системы иностранного производства военного, служебного и гражданского назначения калибров до 12 мм, пуль массой до ~ 20 г и дульной кинетической энергией до ~ 4000 Дж.

В таблице даны баллистические и конструктивные характеристики пуль огнестрельного нарезного оружия, используемого в работе [2].

На рис. 1. показан процесс начала образования вырубной чашечки при выстреле в



Рис. 1. Процесс начала образования вырубной чашечки

**Таблица.** Характеристики пуль и патронов огнестрельного оружия

Тип оружия	Калибр и тип пули	Дульная скорость, м/с	Масса пули, г
Пистолет Макарова	9.0 ОБ/ПС	305-325	6.2
Автомат АКМ	7.62, сталь ОБ/ПС	710-740	7.9
Винтовка СВД	7.62, сталь ОБ/ПС	820-840	9.6
Автомат АКМ	7.62, сталь ОБ/ТУС	710-740	7.9
Винтовка СВД	7.62, сталь ОБ/ТУС	820-840	9.6

Примечание - ОБ – оболочечная свинцовая пуля, БО – свинцовая пуля без оболочки, ОБ/ПС – оболочечная пуля с простым стальным сердечником, ОБ/ТУС – пуля с термоупрочненным стальным сердечником.

пластину стали Ст.3 пулей 7.62 мм из СВД. По вершине выпуклости трещина переходит в кольцевой отрыв. Дальше идёт расширение разрыва, открывание чашечки выпуклости как крышки «на петлях» и остановка. Пуля окончательно теряет энергию и останавливается внутри чашки.

Процесс можно описать как энергетическое штамповочное выдавливание пупка и дальнейший кольцевой полный или частичный отрыв боковых утончающихся стенок. Идёт работа на растяжение, далее имеет место разрывной отрыв, превышающий энергию разрушения атомарной структуры стали. Это аналог механической штамповки на высоких скоростях и давлениях с характерной высокотемпературной пластификацией металла мишени в зоне её продавливания с вовлечением в холодную пластическую вытяжную деформацию окружающей прилегающей зоны металла («шляпка» вытягивает «юбку» и отрывает её).

На рис. 2 показана вырубленная чашечка пуль пистолета Макарова при выстреле в образец стали Ст.3 толщиной 2 мм.



**Рис. 2.** Образование чашечки после выстрела пуль пистолета Макарова



**Рис. 3.** Вырубки при лобовом (слева) и при боковом (справа) соударении пули с преградой: сердечники автоматной пули (слева) и винтовочной (справа) вложены в свои же вырубки

Выбивание пробки происходит как при лобовом ударе пули, так и при боковом соударении (рис. 3). На рисунке показаны два типа соударения с пластиной из стали Ст.3 толщиной 6 мм автоматной пули 7.62 патрона 7.62x39 мм и винтовочной 7.62x54 мм со стальным сердечником.

Таким образом, при пробитии листов преграды 5–6 мм длинноствольным оружием, торец сердечника пули успевает расплющиться, осесть, увеличиться в поперечнике, и головной частью пули вышибить пробку из листа металла по своему диаметру. На пробках-вырубках видны истончённые оторванные края вытяжки и плоскости механического разрыва металла преграды. Если идёт боковой удар, то имеем полнопрофильную боковую вырубку металла, также выносимую наружу. Таким образом, удар торцом - вырубка чашечкой, боком – лодочкой (рис. 3).

Для пуль со свинцовыми сердечниками процесс образования вырубки из мишени также наблюдается, деформация материалов пули и мишени, но протекает по-другому. На рис.4 показана вырубка из пластины стали 4 мм от выстрела винтовочной пулей 7.62x54 мм со свинцовым сердечником. На снимке раз-

личим растёкшийся свинец в чашечках вырубках. Всегда остаётся центральный пупок осевой свинцовой пули или сердечника, по которому виден угол подхода пули и боя. Видны оторванные неровные края чашечек стали преграды.

На рис. 4 тяжёлый мягкий свинцовый сердечник, с силой ударяя в стальную пластину, начинает продавливать её по ходу движения, вытягивает конус, жидкий свинец тяжёлой кинетической массой самоцентрируется в ядро, собираясь в вершине конуса, которую сам же выдавил, и продолжает давить дальше, вытягивая конический пупок ещё больше. Если превышен предел прочности металла на разрыв и пуля ещё сохранила энергию, то идёт отрыв вершины конуса и всё вместе вылетает вырубкой в виде свинца, диффузионно припаявшегося к вырубленной чашечке металла мишени под высоким давлением и нагревом, получая диффузионную сварку для стальных материалов сердечника и мишени.

Собран фактический материал, образующий общий ряд типичного выбивания металла из мишени для различных типов оружия (рис. 5). Показана единая тенденция физических процессов деформации поведения для различных материалов со стальным и свинцовым сердечником. В качестве экстраполяции ряда дан пример вырубki ружейной дробью.

На рис. 5 слева направо сверху показаны вырубki и под ними сердечники пуль: ружейная



**Рис. 4.** Вид вырубki винтовочной пулей 7,62\54 со свинцовым сердечником из пластины стали Ст.3 со свинцом внутри (слева)

свинцовая дробь №1 массой 0.13 г, вырубившая пробку из листа кровельной жести толщиной 0.5 мм по своему диаметру. Далее вырубki из стали Ст.3 толщиной 2 мм пулей ПМ. Центральная - вырубка из Ст.3 толщиной 4 мм автоматной пулей с стальным сердечником. Последние справа винтовочные пули с вырубками из Ст.3 толщиной 6 мм патрона 7.62x54 со свинцовым сердечником и со стальным сердечником крайняя справа.

Процесс, который в отдельных случаях сопровождает вырубание пробки – это образование чашечки отгиба (рис. 6). На рис.



**Рис. 5.** Общий ряд типичного выбивания металла из преграды в виде пробки в зависимости от типа пули



**Рис. 6.** Процесс прострела разнесённой многослойной преграды автоматной пулей 7.62 мм: справа налево - 3 пластины со сквозным пробитием, образование чашечки отгиба, непробитие

6 чашеобразный отгиб получен прострелом комбинированной разнесённой многослойной цельносварной преграды из стали Ст.3 автоматной пулей 7.62x39 мм. Пластины 2 мм на расстоянии 40 мм сварены в жёсткий каркас. Первые три пластины сокращают расстояние полного полёта пули и обеспечивают предварительное торможение и естественное погашение энергии. Чашеобразные отгибы образуются на остаточных энергиях пули и на углах подхода пули к плоскости отличных от нормали. Отгиб – «неудавшаяся чашечка» вырубки. Идёт штамповка, но не достаточно энергии для оформления вырубki ровной правильной сферической формы и отрыва вырубki.

Таким образом, как итог выбивания пулями стальных пробок. От дроби и до самых крупных калибров выявлен один и тот же физический закон энергии кинетического импульса в работе выдавливания, вытяжки и закритического разрушения металла. Если прочность преграды (кулоновская энергия связи молекулярно-атомарной структуры определённой толщины преграды) выше энергии пули, то везде получаем вытяжку металла в виде конусного «пупка» разной величины, на пределе растрескивание вершины пупка, и удержание пули. Если прочность несколько ниже, то получаем пробитие и вырубку пробки, или отгиб. Данные явления характерны для обычных малопрочных сталей (Ст3.), структуры которых допускают хорошую деформацию. Твёрдые, прочные и более хрупкие стали ведут себя по-другому: жесткая мощная структура сразу разрушается, практически минуя фазу пластической деформации, происходит цилиндрическая «выколотка», в отличии от сферической чашечки «пулевой штамповки», – с одной стороны ударила пуля, остановилась, упала, а с обратной стороны пластины вылетела выколотка диаметром калибра и толщиной мишени. Деформацией выколотки и окружающего металла практически можно пренебречь (так работает материал стальных бронепластин - вкладышей бронезилов).

## ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

Исследованы критические условия пробивания стальной преграды пулей огнестрельного оружия и схема пробития с образованием вырубki. Дано описание процессов образования вырубki и описание динамического характера кинетических процессов деформации и разрушения материалов преграды и пули со стальным и свинцовым сердечником при соударении. Показан фактический эмпирический материал по образованию вырубki для пуль патронов различных классов оружия, в том числе при лобовом и боковом соударении, образовании чашечки отгиба. Показана общая тенденция скоростных режимов процесса образования вырубki.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексенцева С.Е., Захаров И.В.* Процессы кинетики, деформации и разрушения при высокоскоростном ударе и бронепробитии: Учебное пособие. Самара: РИО СамГТУ. 2-е изд., 2017. 98 с.
2. ГОСТ Р 51112-97. Средства защитные банковские. Требования по пулестойкости и методы испытаний. М.: Госстандарт России, 2003. 14 с.
3. Перспективы создания броневых преград повышенной стойкости на основе ультравысокопрочных сталей / *В.А. Григорян, А.М. Легкодух, А.П. Матевосьян, Н.С. Кудрявцева, Е.И. Фанасова* // Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности». С.-Пб., 2000. Т.2. С.110-115.
4. *Lambert, J.P.* Ballistic Research Laboratory // ARBRL, 1978. MP-02828 (AD B027660 L).

**RESEARCH OF CRITICAL CONDITIONS OF PROCESS OF IMPACT  
OF A BULLET OF FIRE-ARMS WITH THE PLATE OF STEEL**

© 2019 S.E. Aleksentseva, I.V. Zaharov

Samara State Technical University

In article results are shown of research of critical conditions of process of impact of a bullet of fire-arms with the plate of steel. Process of destruction of a steel plate in the field of punching with cutting down of stopper is investigated at impact of a bullet with a barrier. Research of a mode of punching of a barrier with cutting down of stopper has the importance for expert departments of the Ministry of Internal Affairs for the purpose of identification of the weapon with the maximum quantity of factors of identification, and for developing of methods of modelling of process of destruction of the armour, analytical calculations and empirical researches. In work the experimental research technique of punching a barrier at specially developed stand with remote descent is described. The basic classes of fire-arms for research of area of critical conditions punching barrier with cutting down of stopper are used some. Experiments for punching of a barrier with cutting down of stopper are conducted for different calibres and types of bullets of classes of short-barrelled and long-barrelled fire-arms. The analysis of process of deformation and destruction of a material of a barrier and bullet as a result of process with cutting down of stopper is made. Process with cutting down of stopper is investigated at front and lateral impact of a bullet with the steel and lead core with a barrier. The estimation of high-speed and energy modes in process with cutting down of stopper and conditions of possibility of incomplete process with cutting down of stopper is made.

*Keywords:* fire-arms, cartridge, bullet, speed, impact, punching plate of steel, critical conditions, cutting down of stopper