

УДК 66.017:623.4

Э.А. Елисеев<sup>1</sup>, О.А. Тоньшева<sup>1</sup>, Н.А. Якушева<sup>1</sup>

## МАТЕРИАЛЫ И РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РЕСУРС СТВОЛОВ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ, ТАНКОВЫХ И СРЕЛКОВЫХ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ (обзор)

DOI: 10.18577/2307-6046-2017-0-9-3-3

*Стволы различных орудий и стрелкового вооружения эксплуатируются в различных атмосферных и климатических условиях контингентом войск разной степени подготовленности. Поэтому, применяются разнообразные материалы и технологии их обработки.*

*Требования к стволам делятся на идентичные и специфические и серьезно отличаются в зависимости от боевого назначения орудий, установки на транспортном средстве, а также калибра. Ствол является наиболее нагруженной деталью оружия и имеет ресурс значительно меньший, чем все другие узлы и детали оружия. Рассмотрены факторы, воздействующие на оружейные и орудийные стволы, материалы для изготовления стволов и способы их обработки.*

**Ключевые слова:** *ствол, орудие артиллерийское, орудие танковое, ствол стрелкового оружия, материалы для стволов, технологии изготовления стволов, автофреттирование.*

*Barrel of different guns and small arms are training in different atmospheric and weather conditions by the contingent of different degree of readiness. Different materials and various technologies of their processing are used for barrels manufacturing.*

*There are identical and specific requirements to barrels which are differ from each other depending on fighting assignment of tools, installation on vehicle and caliber. A trunk is most loaded detail of the weapon and its resource is considerably smaller than all other nodes and details of a weapon. The factors influencing weapon trunks, materials for manufacturing of trunks and ways of their processing are considered in the article.*

**Keywords:** *barrel, piece of artillery, tank gun, gun barrel, materials for trunks, manufacturing techniques of barrels, autofrettage.*

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

Стволы артиллерийских, танковых пушек и стрелкового оружия изготавливаются для применения в системах вооружения разнообразного назначения и эксплуатируются в различных атмосферных и климатических условиях. Поэтому, применяются разнообразные материалы и технологии их обработки [1].

Основные виды стрелкового оружия, рассмотренные в данной статье: боевое, спортивное, охотничье, служебное.

Имеются как идентичные требования к стволам стрелкового оружия и условиям эксплуатации, так и специфические, зависящие от вида. К *идентичным* требованиям относятся: прочность, надежность, точность стрельбы, долговечность, эргономичность. К *специфическим* требованиям относятся: низкая себестоимость, высокая технологичность для стволов боевого оружия, высокая кучность стрельбы для автоматического служебного и боевого оружия, минимальная масса, различные специальные требования для служебного оружия, высокая теплопроводность для автоматического боевого

оружия и т. п. Следует принимать во внимание то, что важнейшие характеристики стволов – долговечность и точность стрельбы – зависят от сервисного обслуживания, которое может быть хорошо организованным для спортивного, охотничьего, служебного, а также боевого оружия в мирное время, но сильно ухудшаться в военное время по целому ряду причин. Таким образом, стволы, по крайней мере боевого оружия, должны быть неприхотливы и просты в обслуживании.

Требования к пушечным стволам также могут существенно различаться в зависимости от боевого назначения орудий (полевые, противотанковые, зенитные, крепостные, береговой обороны), от установки на военном транспортном средстве (авиационные, танковые, корабельные, на железнодорожном транспорте, самоходные), а также калибра ствола.

Суммируя наиболее разрушительные воздействия на стволы артиллерийских, танковых пушек и стрелкового оружия, можно выделить следующие основные факторы:

- трение между снарядом или пулей и нарезами канала ствола;
- кратковременное давление пороховых газов при подрыве заряда в продольном и поперечном направлениях;
- эрозионный износ канала ствола в результате стрельбы;
- химическое взаимодействие продуктов сгорания пороха с металлом стенок, усиленное высокой температурой;
- воздействие окружающей среды – влаги, тепла, холода, света, пыли, песка, пониженного и высокого давления, радиации и других подобных факторов [2–5].

При подрыве боеприпаса в казенной части, ствол подвергается действию трения скольжения снаряда (пули), а также высокотемпературного, высокоскоростного потока пороховых газов, имеющих высокое давление и химическую активность. Кроме того, твердые частицы, имея большую кинетическую энергию, в потоке газа, сталкиваясь с внутренней поверхностью ствола, дополнительно усиливают воздействие газа на металл [6].

Так, металлографические исследования бывших в эксплуатации артиллерийских стволов показали наличие на внутренней поверхности ствола слаботравящегося слоя металла, очевидно претерпевшего фазовые превращения, а возможно и оплавление при стрельбе. Наличие подобных слоев резко ухудшает стойкость материала к указанным ранее воздействиям на металл.

При эрозии в условиях воздействия высокотемпературного газового потока происходит образование мельчайших усталостных трещин, направленных радиально вглубь ствола, что является неисправимым дефектом. Поэтому ствол имеет ресурс значительно меньший, чем все другие узлы и детали оружия.

Воздействие окружающей среды имеет не менее существенное значение. Влага, постоянно содержащаяся в атмосфере, ускоряет коррозию металла, способствует гидролизу и вследствие этого вызывает различные физико-механические повреждения вооружения. Отрицательное воздействие коррозии на металл определяется не только потерями металла и снижением механической прочности конструкций, но и уменьшением точности и сокращением сроков работы ствола.

При повышении влажности воздуха выше критической относительной влажности (для сталей 65–70%) происходит резкое возрастание скорости коррозии металла вследствие образования адсорбционной пленки, которая растворяет агрессивные агенты среды и разрушает защитную оксидную пленку на поверхности металла.

Указанное коррозионное воздействие усиливается в условиях морского климата, воздушной среды современного мегаполиса, а также экстремально высоких (пустыни Средней и Западной Азии и Северной Африки) или низких (территории Сибири и Заполярья) температур.

Как частички органических веществ, так и неорганическая пыль в равной мере способствуют коррозии и износу металла. Воздействие частиц песка приводит главным образом к абразивному износу поверхности ствола. Самое неблагоприятное действие оказывают частицы ~15 мкм.

Таким образом, кратко можно сформулировать требования к материалам для изготовления стволов артиллерийских, танковых пушек и стрелкового оружия. Материалы должны выдерживать давление пороховых газов, сопротивляться их эрозионному и химическому воздействию, обладать стойкостью к перегреву (локальному – до 1500°C и общему – до 400–500°C) без потери прочности, при разрушении не давать вторичных осколков, удовлетворительно противостоять коррозионному воздействию и другим воздействиям окружающей среды.

Рассмотрим некоторые материалы для изготовления стволов стрелкового оружия.

*Бронза* – сплав меди с оловом, а также другими компонентами, кроме цинка и никеля, на основе меди. Вследствие высокой вязкости бронза является очень надежным материалом, который противостоит разрыву перенапряженного ствола. Бронзы мало чувствительны к воздействию вредных факторов окружающей среды. Этот металл не относится к дорогостоящим материалам, кроме того, изношенные стволы можно отправлять на переплавку и изготавливать новые стволы с минимальными затратами. Однако в современном производстве стволов бронзы применяются редко вследствие низкой прочности и твердости, что препятствует применению боеприпасов, создающих при подрыве высокое давление газов, и в основном при сборке многослойных стволов, включающих бронзовые трубы и стальной канал.

*Титановые сплавы* – при наличии высокой прочности обладают малой плотностью, немагнитны. Высокая стоимость, плохая обрабатываемость, низкая теплостойкость и высокая активность при взаимодействии с пороховыми газами делают эти сплавы мало пригодными для изготовления стволов различного вооружения.

*Специальные жаропрочные сплавы* на основе кобальта, легированные никелем, хромом, молибденом, железом, – имеют высокую жаропрочность и жаростойкость, но не получили широкого применения по причине высокой стоимости компонентов, а также эти сплавы чрезвычайно сложны в обработке.

*Алюминиевые сплавы* (силумин, дуралюмин и т. д.) – не получили применения вследствие низких механических свойств, в частности предела прочности при растяжении, модуля упругости, жаропрочности, а также низкой теплостойкости.

*Композиционные материалы*, представляющие собой различные комбинации деталей из стали, пластика, керамики и др., – отличаются небольшой массой, стойкостью к эрозии пороховыми газами, малозаметностью для металлодетекторов [7]. В качестве недостатков таких материалов можно указать малую теплопроводность, высокую стоимость, низкую ударную вязкость (в случае керамического ствола – сложность при изготовлении и плохую ремонтпригодность), что определило область их применения – не для стволов массового армейского оружия, а для оружия, используемого спецслужбами.

Наилучшими материалами, противостоящими всему комплексу неблагоприятных воздействий на ствол, в настоящее время считаются стали различного химического состава. Стали не относятся к дорогостоящим материалам, достаточно технологичны в случае массового производства, не содержат дефицитных компонентов, при необходимости ремонтпригодны в полевых условиях.

Классическими сталями для стволов стрелкового оружия считаются стали марок 50, 50РА. Применяются также стали следующих марок: 30ХН2МФА, 30ХРА (из этой стали, в частности, изготавливают стволы для семейства автоматов АК), 30ХМА, 38ХМА [8].

На практике применяют также коррозионностойкую сталь типа А20Х13. Однако для массового боевого оружия она не подходит вследствие низкой теплопроводности и невысоких прочностных свойств. Стволы из коррозионностойких сталей устанавливаются только на охотничьи ружья.

Стволы для различных артиллерийских систем изготавливают из сталей марок ОХМ, ОХВ, ОХН1М, ОХН1В, ОХН2М, ОХН3В, ОХН3М, ОХН3МА, ОХН3ВФА и ОХН3МФА. В некоторых случаях применяются более дорогие стали: 20Х13, ЭП722 (Р9М4К6С) и др. [9].

Для стрелкового служебного оружия применяются также стволы из керамики (оружие из немагнитных материалов для спецслужб), а также иных высокопрочных, коррозионностойких и др. специальных материалов, подвергаемых сложной многоступенчатой обработке [9–12].

Выбор материалов для изготовления ствола определяется также его технологичностью при обработке. Поскольку большая часть стрелкового вооружения и ствольной артиллерии оснащается нарезными стволами, то материал должен хорошо подвергаться обработке давлением и механической обработке.

В настоящее время наиболее распространенными являются следующие методы обработки [13–17].

*Метод изготовления стволов резанием* – наиболее точный; позволяет получать практически идеальную по размерам полей и нарезам внутреннюю геометрическую форму канала, но достаточно длительный по времени обработки (период обработки одного ствола – от 2 до 8 ч) [18].

*Ротационная ковка* – очень быстрый способ (~3 мин на изготовление ствола), позволяющий получать стволы с хорошей внутренней поверхностью и достаточной для большинства задач точностью. Недостатком данного метода является чрезвычайно высокая стоимость оборудования.

*Дорнирование* – протягивание через канал ствола твердосплавной головки – дорна. Головка имеет определенный профиль, соответствующий калибру, количеству и шагу нарезов. Сама операция протяжки дорна занимает от одной минуты до нескольких десятков минут, однако требует очень качественной подготовки и прежде всего по финишному размеру канала, его чистоте, а также по смазкам [19]. После протяжки дорна отверстие получается большего калибра, и для получения точного размера и снятия напряжений ствол помещают в специальную печь, где он медленно нагревается и остывает в течение ~50 ч. Недостаток метода – сложность подбора термических режимов для получения ствола нужного размера.

*Электрохимическое травление* – через канал протягивают электрод с профилем нарезов и подают электрический ток, в месте контакта металл ствола вытравливается и получаются нарезы. Способ довольно точный и быстрый, но применим не для всех сталей.

Рассмотрим некоторые особенности изготовления стволов для вооружений.

Стволы для артиллерийских орудий изготавливают как из единой цельной трубы – так называемые моноблоки, так и из нескольких труб – для создания постоянных сжимающих напряжений во внутренней трубе. Внутреннюю трубу (ствол) изготавливают из высокопрочного материала, внешнюю трубу (кожух или несколько труб) – из более пластичного материала и насаживают на ствол после нагрева до высоких температур.

Различают несколько конструкций многослойных стволов.

На холодную трубу насаживают в горячем состоянии кольца в один или несколько слоев. Указанная труба и представляет собой собственно ствол, который принимает на себя все вышеуказанные вредные влияния. Кольца полностью не предохраняют ствол от осевого разрыва, поэтому схема ствола в виде трубы с кольцами применяется редко.

Следующая конструкция представляет собой трубу, на которую в горячем состоянии насаживают другую трубу – кожух. Кожух может быть длиной от дула до затвора, а может охватывать внутреннюю трубу только частично – обычно ближе к затвору. Внутренняя труба и кожух соединяются кольцами, которые, в свою очередь, закрепляются штифтами.

Применяется также комбинированная конструкция – на ствол надевают кожух, а впоследствии на эту конструкцию набирают в горячем состоянии кольца.

Следующий вариант подразумевает, что трубу обматывают определенным количеством витков металлической ленты. Ленту наматывают с таким натяжением, что внутренняя труба испытывает значительные сжимающие напряжения, которые компенсируются при выстреле. Ленту можно наматывать после разогрева до высоких температур и сваривать кузнечной сваркой. Существует способ, в котором лента применяется в холодном виде. Ею обматывают трубу ствола, регулируя натяжение обмотки, что позволяет создавать во внутренней трубе контролируемые сжимающие напряжения. Снаружи описанное соединение, как правило, дополнительно охватывают кожухом для лучшего скрепления частей ствола. Затвор помещается во внутренней трубе или в кожухе. Теоретически эта конструкция соответствует большому количеству малых колец. Проволочное скрепление стволов, которое получило свое развитие в Англии, следует считать устаревшим вследствие некоторых его недостатков и трудности выполнения; к тому же эти стволы значительно тяжелее стволы с кожухом.

В настоящее время получил распространение способ создания постоянных сжимающих напряжений во внутренних слоях моноблока, называемый автофреттированием или сапоскреплением. Он заключается в нагнетании на специальных автофреттажных установках внутреннего гидравлического давления в стволе-моноблоке, позволяющего создать на внутренних стенках ствола напряжение выше предела текучести. При создании внутреннего давления радиальное напряжение  $\sigma_r$  является растягивающим, а окружное (тангенциальное  $\sigma_t$ ) напряжение – сжимающим (рис. 1, а).

В результате происходит деформация внутренних слоев моноблока. После снятия нагрузки внутренние слои металла остаются в деформированном состоянии и в них присутствуют сжимающие напряжения, а во внешних слоях наблюдается упругодеформированное состояние с напряжениями растяжения (рис. 1, б). При подрыве боеприпаса растягивающие напряжения, вызванные давлением пороховых газов, суммируются с остаточными сжимающими напряжениями во внутренних слоях ствола, что приводит к уменьшению результирующих напряжений.

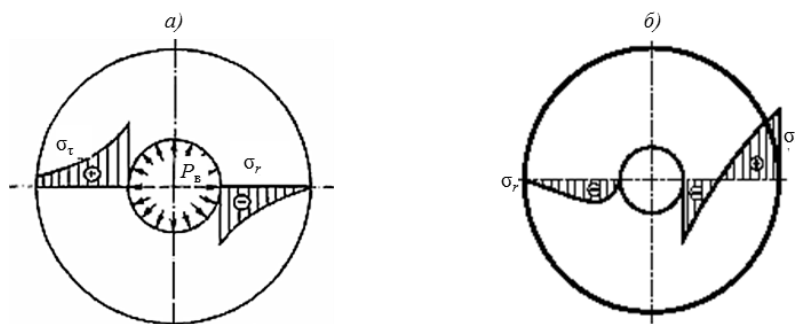


Рис. 1. Эпюры радиального  $\sigma_r$  и окружного (тангенциальное  $\sigma_t$ ) напряжений в стволе-моноблоке после создания (а) и снятия (б) внутреннего гидравлического давления

Для увеличения срока службы как артиллерийских, так и стволов стрелкового оружия применяют покрытия, чаще всего хромом толщиной от 50 до 180 мкм, что повышает срок службы в 2,5–3 раза [20, 21] – например, для стрелкового вооружения от

обычных 10 тыс. до 25–30 тыс. выстрелов. Для повышения износостойкости стволов применяется также химико-термическая обработка внутренней поверхности, в частности нитроцементация [22].

Современные тенденции совершенствования технологии изготовления оружейных стволов хорошо прослеживаются на примере танковых пушек, для которых весьма насущными являются проблемы повышения поражающей способности движущихся и стационарных бронированных или укрепленных целей путем повышения скорости вылета снаряда, а также уменьшения массы орудия для облегчения и уменьшения объема башни.

Для этого современные танковые пушки делают гладкоствольными, что резко повышает скорость метания снаряда, а также повышает их универсальность, поскольку такое орудие может выпускать не только снаряд, но и неуправляемую или управляемую ракету [23, 24].

В материаловедческом направлении решение данной проблемы возможно путем применения новых высокопрочных сталей, оптимальной технологии их термической обработки, позволяющих уменьшить толщину ствола, а также благодаря применению в качестве кожуха композиционных материалов. Использование композиционных материалов не только снижает массу ствола, но и позволяет использовать меньшие по мощности и массе приводы и противооткатные устройства, улучшить балансировку ствола и применить дульный тормоз (рис. 2), который в свою очередь также резко снижает массу всего орудия.



Рис. 2. Выстрел гладкоствольного орудия MG253 калибром 120 мм танка «Меркава Mk.4» с характерным выбросом газов при срабатывании дульного тормоза

Стенки труб гладкоствольных танковых пушек по сравнению с нарезными пушками обладают меньшей толщиной и большей длиной. В связи с этим гладкие стволы имеют существенно меньшую жесткость, чем нарезные трубы. Значительный нагрев гладкоствольных труб при эксплуатации приводит к короблению ствола, но даже незначительное искривление ствола вдоль продольной оси оказывает влияние на точность стрельбы.

С целью уменьшения коробления ствола применяют термозащитный кожух, выполняющий к тому же и ряд других функций. Так, использование композитов высокой жесткости способствует точности наведения и ослаблению динамических напряжений, связанных с высокой скоростью движения снаряда. Композитный кожух выполняет функцию уменьшения радиозаметности танка, а также скрывает разогретый после выстрелов ствол от обнаружения системами инфракрасного наведения систем поражения танков противника.

Современная конструкция дульного тормоза требует, чтобы он составлял со стволом единое целое, поэтому высокопрочная сталь, применяемая для изготовления ствола, должна быть хорошо свариваемой.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного направления 8.2. «Высокопрочные конструкционные и коррозионностойкие свариваемые стали с высокой вязкостью разрушения» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [25].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Конструкционные и функциональные материалы – основа экономического и научно-технического развития России // Вопросы материаловедения. 2006. №1. С. 64–67.
2. Оспенникова О.Г. Стратегия развития жаропрочных сплавов и сталей специального назначения, защитных и теплозащитных покрытий // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 19–36.
3. Туканов А.Г. Технология производства стрелково-пушечного и артиллерийского оружия. М.: Машиностроение, 2010. 238 с.
4. Hasenbein R.G. Wear and Erosion in Large Caliber Gun Barrels: RTO-MP-AVT-109. U.S. Army Armament Research, Development & Engineering Center. P. 16-1–16-14.
5. Nowotny S., Spatzier J., Kubisch F. et al. Repair of Erosion Defects in Gun Barrels by Direct Laser Deposition // Journal of Thermal Spray Technology. 2012. Vol. 21. Issue 6. P. 1173–1183.
6. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
7. Emerson R., Kaste R., Carter R. et al. Approaches for the Design of Ceramic Gun Barrels. U.S. Army Research Laboratory Weapons & Materials Research Directorate. P. 1–7.
8. Крекнин Л.Т. Производство автоматического оружия: Ч. 1. Ижевск: Ижевский гос. технич. ун-т, 2012. 236 с.
9. Тоньшева О.А., Вознесенская Н.М., Шалькевич А.Б., Петраков А.Ф. Исследование влияния высокотемпературной термомеханической обработки на структуру, технологические, механические и коррозионные свойства высокопрочной коррозионностойкой стали переходного класса с повышенным содержанием азота // Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 31–36.
10. Вознесенская Н.М., Елисеев Э.А., Капитаненко Д.В., Тоньшева О.А. Оптимизация технологических режимов получения тонких листов и ленты из коррозионностойкой стали ВНС-9-III // Металлы. 2014. №1. С. 46–51.
11. Орлов М.Р., Оспенникова О.Г., Громов В.И. Развитие механизмов водородной и бейнитной хрупкости конструкционной стали в процессе эксплуатации крупногабаритных конструкций // Авиационные материалы и технологии. 2012. №5. С. 88–93.
12. De Rosset W.S., Montgomery J.S. Cobalt-Base Alloy Gun Barrel Study. Army Research Laboratory. July, 2014. P. 119–123.
13. Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий. М.: Машиностроение, 1976. 432 с.
14. Жук А.Б. Стрелковое оружие. М.: Воениздат, 1992. 735 с.
15. Алферов В.В. Конструкция и расчет автоматического оружия. М.: Машиностроение, 1977. 248 с.
16. Федосеев С.В. Оружие современной пехоты. М.: Астрель, 2001. Т. 1. 351 с.
17. Полная энциклопедия боевых танков и самоходных орудий / под. ред. О.В. Дорошкевича, В.С. Ликсо, К.Л. Архипова. М.: АСТ; Минск: Харвест, 2008. 384 с.
18. Способ изготовления ствола артиллерийского орудия: пат. 2419757 Рос. Федерация; заявл. 31.05.10; опубл. 27.05.11, Бюл. №15. 11 с.
19. De Rosset W.S., Gray D. Processing of Niobium-Lined M240 Machine Gun Barrels. Army Research Laboratory. November, 2014. P. 1–20.

- 
20. Салахова Р.К. Коррозионная стойкость стали 30ХГСА с «трехвалентным» хромовым покрытием в естественных и искусственных средах // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №2. С. 59–66.
  21. Audino M.J. Use of Electroplated Chromium in Gun Barrels. US Army RDECOM-ARDEC-Benet Laboratories. DoD Metal Finishing Workshop. Washington, DC. May, 2006. P. 22–23.
  22. Копейко С. Оружие войскового снайпера // *Калашников. Оружие, боеприпасы, снаряжение*. 2012. №1. С. 46–52.
  23. Кузьмин Ю.А. Состояние и направления развития бронетанковой техники в зарубежных странах // *Зарубежное военное обозрение*. 2015. №3. С. 55–59.
  24. Голубцов С.Г., Каша О.Б. Основные образцы бронетанковой техники ФРГ // *Зарубежное военное обозрение*. 2014. №10. С. 49–54.
  25. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.