

ОГЛЯД ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ЗАПОБІГАННЯ ПРИСКОРЕНОМУ ЗНОСУ ВНУТРІШНЬОГО КАНАЛУ АРТИЛЕРІЙСЬКИХ СТВОЛІВ

Проаналізовано причини підвищеного зношення внутрішньої поверхні артилерійських стволів. Розглянуто сучасні методики підвищення зносостійкості каналів стволів.

Ключові слова: ствол; артустановка; ерозія каналу ствола; балістична смерть ствола; лейнер; флегматизатори; захисні покриття.

Постановка проблеми

Технологічність виробництва та високий експлуатаційний ресурс є не менш важливими характеристиками для військової техніки і озброєння ніж власне параметри бойової ефективності. Баланс параметрів ціна/надійність/ефективність особливо важливо враховувати при прийнятті на озброєння нових зразків піхотного озброєння, або модифікації тих, що вже експлуатуються.

Відповідно питання економічно вигідного та технологічно простого методу підвищення експлуатаційного ресурсу діючих зразків артилерійського озброєння не втрачає свою актуальність. Особливо складним виглядає питання підвищення ресурсу гладкоствольної артилерії калібру 60, 82 та 120 мм як такої, що застосовується у якості групової зброї. З точки зору саме Української армії важливішою є модифікація останніх двох, як таких що стоять на озброєнні. Так 82 мм міномети 2В14 «Піднос» та КБА 48М1 переносяться бойовим розрахунком 2-5 чоловік, при чому для ведення вогню достатньо 2 чоловік, але вага мінометів не дозволяє обмежитись цим числом. Автоматичний 82 мм міномет 2Б9 «Волошка» та 120 мм міномет 2С12 «Сани» перевозяться модифікаціями УАЗ-469 та ГАЗ-66.

Основними проблемами в експлуатації даної техніки та озброєння, не зважаючи на їх модифікації, є відносно невисокий ресурс їх робочих органів, що піддаються ерозійному зношуванню в умовах високо-температурних потоків газів та рідин. Зокрема, внутрішня поверхня артилерійських стволів є частиною, що найбільше піддається впливу агресивних факторів [1]. Відповідно, зношується вона також швидше, ніж сам ствол вичерпає свій ресурс.

Таким чином, основною проблемою даного огляду є причини прискореного зносу внутрішньої поверхні ствола мінометів, як вираженого прикладу гладкоствольної артилерії з початковою швидкістю снаряда до 700 м/с.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є огляд основних методів підвищення стійкості внутрішньої поверхні артиле-

рійського ствола, що застосовуються в Україні та світі.

Постановка завдання

Для більш повного аналізу визначеної вище проблеми перед нами було поставлено ряд завдань:

1. Описати загальноприйняті методи підвищення зносостійкості внутрішніх поверхонь артилерійських стволів, що застосовуються в оборонній промисловості.
2. Розглянути основні спірні питання в даному напрямку.
3. Визначити основні наукові питання та перспективи їх рішення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розглядаючи, процес ерозії та як наслідок, балістичної смерті ствола, необхідно в першу чергу вказати сили, що діють на ствол під час пострілу[2]. Їх можна поділити на дві групи: внутрішні та зовнішні сили.

До внутрішніх сил належать: сили тиску порохових газів; сили взаємодії снаряда зі стволом.

До зовнішніх сил належать: сили, що діють з боку люльки, противідкотних пристроїв (ПВП) і дульного гальма (ДГ); сили інерції, що виникають внаслідок прискореного відкотного руху ствола.

Так як міномет є гладкоствольною артилерійською системою, сили взаємодії снаряда зі стволом, що в нарізних системах виражені в проході поясу снаряда по нарізам і викликають таку проблему, як обміднення, в нашому випадку є досить малозначними, щоб їх не враховувати. А те, що дана система є безвідкотною, виключає дію зовнішніх сил, в тому вигляді, що наведено вище.

В нашому випадку знос каналу ствола відбувається внаслідок багаторазової повторюваної надзвичайно могутньої дії на його поверхню порохових газів. Цей знос відносять до складного явища, обумовленого впливом на канал ствола ряду чинників:

- теплової дії порохових газів, що мають в каналі ствола високу температуру (2500–3000 °С), яка перевищує температуру плавлення сталі, що призводить до оплавлення поверхні каналу, утворення температурного напруження і тріщин;

– хімічної дії порохових газів на метал ствола в умовах високих температур, що призводить до цементації і азотування поверхневого шару каналу ствола і утворення крихкої кірки;

– динамічної дії порохових газів на поверхневий шар металу ствола при високому тиску і температурі, що призводить до розмивання і згладжування перешкоди, трапляються на шляху руху газів.

Залежно від ступеня зносу і погіршення балістичних властивостей усі стволи артилерійських гармат підрозділяють на першу, другу, третю і п'яту категорії.

Перша і друга категорії – стволи придатні, третя категорія – передбракована, четверта – не встановлюється, п'ята – бракована. Браковані стволи для бойового використання не допускаються і підлягають заміні.

Найбільш очевидним шляхом вирішення даної проблеми виглядає застосування більш стійких матеріалів при виготовленні ствола. Так, якщо подивитись на історію розвитку артилерії, чітко видно шлях, яким пройшла наукова думка в питанні матеріалів: Мідні та бронзові бомбарди, що з часом були замінені чавунними литими, а вже набагато пізніше і сталевими гарматами в різних варіаціях. Як раз перші з вказаних тут гармат добре демонстрували одну з властивостей

внутрішнього шару стволів, відому людству ще з тих часів і підтверджену в минулому столітті.

Розробник методу високочастотного індукційного закалювання Георгій Ілліч Бабат в своїх спогадах [3] 1964 року посилається на твердження Дмитрія Костянтиновича Чернова, наведеного в статті «О причинах разгара орудийных стволов» від 1912 року. Де відомий металург вказав: «Мягкая сталь лучше, чем закаленная, противостоит огненному дыханию пороховых взрывов». Що було підтверджено і дослідями по індукційній закалці внутрішньої поверхні ствола, яку провів сам Бабат, в підтвердження тези це дійсно зробило поверхню крихкою і прискорило її ерозію.

Так виникає перша спірна проблема – ствол має бути міцним, а його внутрішня поверхня в'язкою.

Спроби отримати матеріал з необхідними параметрами, є невід'ємною частиною процесу проектування нової зброї.

Прикладом може послужити серія розробок Friedrich Krupp AG Hoesch-Krupp [4] по отриманню високоякісних сталей для артилерії. Тоді ж було визначено, що наявність у сплавах значної долі нікелю робить стволи міцнішими, але значно прискорює процес вигорання. На той момент без нікелю в своїх сталях, Крупп обійтись не міг.

Таблиця 1

Механічні властивості ствольних сталей Круппа (показники за 1934-й и 1996 рік)

Позначення на стволах	Межа текучості, кг на кв. мм	Межі міцності, кг на кв. мм	Відносне подовження, %
Krupp-Laufstahl или же Flusstahl Krupp Essen	45-50	70-80	23-16
Special-Gewehr-Lauf Fried. Krupp A.G. Stahl Essen	55-65	85-95	20-15
Krupp-Inerso-Laufstahl	65-75	85-95	20-16
Fried.Krupp A.G.Essen Nirosta	60-75	80-90	22-16
Krupp-Special-Laufstahl	60-75	80-95	22-15

В Україні в подібних пошукових роботах виділилось підприємство «Конструкторское бюро «Артиллерийское вооружение» [5] в м. Києві де в проміжку від 1999 до 2006 року було розроблено ряд технологій і моделей озброєння в тому числі 82 мм міномет з титановим стволом.

Складно сказати чи є економічно вигідним такий підхід. Знову ж, враховуючи проблему вигорання внутрішнього шару металу а також ціну матеріалу ствола, на озброєння така установка може не потрапити просто через ціну. Не дивлячись на це, міномет поступив на випробування і непогано проявив себе, хоча серійне виробництво не є масовим.

З іншого боку, ніхто не змушує розробника виготовляти звичайний ствол, адже давно існують методи компенсації вигорання внутрішнього шару металу.

Цей метод [6] передбачає висвердлювання зношеного шару і додавання замість нього в стволи тонкостінної труби. Виявилось, що досить замінити легку внутрішню трубу, і артилерійська система знову може стріляти. Ця тонкостінна труба називається лейнером; вона виготовляється з високоякісної сталі. У деяких артилерійських системах лейнер вставляють відразу при виготовленні ствола, не чекаючи зносу.

Лейнер вигідний також і тому, що за наявності його можна підвищити потужність артустановки (наприклад, шляхом збільшення заряду). Хай поверхня каналу ствола прийде в непридатність раніше, ніж за звичайних умов. Це не страшно: можна відновити ствол на позиції. Досить лише замінити лейнер. І вартість цієї операції невелика. Зате, чим більше потужність установки, тим більше швидкість снаряда, тим далі полетить снаряд.

Проте введення лейнерів ускладнює виробництво знярядь: треба ретельно і точно обробити великі циліндрові поверхні, а для цього потрібно багато часу. Тому в даний час лейнери застосовуються лише в особливо потужних корабельних і берегових артилерійських системах. Вперше в світі лейнерування стволів було здійснено в 1874, року капітаном 1 рангу А. А. Колокольцовим.

У потужних знярядях сухопутної артилерії замість лейнера інколи вживають вільну трубу. Вона відрізняється від лейнера більшою товщиною і стикається з оболонкою ствола не по всій довжині, а лише в деяких місцях. Це спрощує виробництво.

Проте, для переважної більшості нарізних установок тепер не потрібно ні лейнера, ні вільної труби. Ми вже згадували про простоту виробництва стволів,

досягнуто в даний час. Виявляється, дешевше і простіше замінити весь ствол середньокаліберної гармати, ніж робити його з лейнером або з вільною трубою.

Тому сучасні гармати переважно мають стволи-моноблоки, які після зносу замінюються цілком.

Другим спірним питанням є вплив температурної деформації внутрішнього шару металу або лейнера на геометрію ствола. Простіше кажучи – ствол має бути в'язким всередині, але при цьому жаростійким і здатним протистояти пружній деформації (роздуванню труби).

Одним із вирішальних чинників, що визначають ступінь і прогресивність зносу каналу ствола, є температура вибухового розкладання пороху [2]. На практиці марки пороху, для яких характерні найбільш низькі температури вибухового розкладання, дають найбільш високу живучість, і, навпаки, марки пороху з високими температурами вибухового розкладання дають найбільш низьку живучість. Тому для збільшення живучості (необхідно застосовувати «холодніші» марки пороху, що мають меншу температуру вибухового розкладання. Але при цьому необхідно пам'ятати, що зниження температури вибухового розкладання пороху призводить до зменшення його сили, що, у свою чергу, призводить до необхідності збільшувати вагу заряду, об'єм камори, довжину ствола, тобто до того, що робить гармату важчою.

Із впливом на живучість стволів фізико-хімічних властивостей пороху пов'язано застосування просальників і флегматизаторів, що виготовляються з церезину і парафіну. Застосування в заряді флегматизатора значно зменшує знос ствола і є виключно ефективним засобом підвищення живучості. Природа дії флегматизатора ще недостатньо вивчена, але встановлено, що його застосування знижує нагрівання поверхні ствола. Це, мабуть, є наслідком зниження температури вибухового розкладання пороху або наслідком того, що речовина флегматизатора створює захисну плівку на поверхні каналу ствола, що зменшує теплообмін між пороховими газами і поверхнею каналу ствола. Це підтверджується тим, що ефективність дії флегматизатора підвищується при розміщенні речовини флегматизатора по периферії заряду всередині гільзи.

Даний метод є незамінним для крупнокаліберної артилерії і може бути ефективним в автоматичних мінометах.

Третім спірним питанням можна вважати необхідність металу бути стійким до хімічної взаємодії з пороховими газами, при цьому зберігаючи стійкість до високотемпературної та кінетичної деформації пороховими газами.

Досить складно підібрати матеріал з подібними властивостями, але як уже було вказано ствол не обов'язково має бути однорідним. Крім лейнерів та флегматизаторів (а також різних варіантів антифрикційних покриттів), активно застосовуються довгострокові захисні покриття.

Тут варто виділити хромування, що активно застосовується як у нас, так і в багатьох країнах світу. В артилерії таке покриття дозволяє протистояти температурній деформації та агресивному середо-

вищу, продовжуючи строк служби ствола до 2,5 раз завдяки властивості частково відновлювати геометрію ствола при повторному нанесенні. В той же час основним недоліком хромування є якраз вплив на геометрію ствола, що може погіршити його балістичні властивості.

Таким чином, було встановлено три найпоширеніші варіанти запобігання зношенню та часткового ремонту артилерійських стволів.

Лейнерування та застосування лейнероподібних вставок дозволяє застосовувати навіть стволи 3 категорії, що є головною перевагою даного методу на рівні з можливістю збільшувати потужність заряду, не жалюючи лейнер та простотою його заміни. Недоліками лейнерування є невідповідність для малокаліберної артилерії через дороговизну, що може і змінитись та необхідність возити за собою ще й лейнери, що або збільшить розміри артилерійського розрахунку, або додатково навантажить транспорт.

Застосування флегматизаторів та антифрикційних покриттів знижує температурне та механічне навантаження, але в одному випадку додає кілька операцій при обслуговуванні міномета, а в іншому ускладнює виробництво боєприпасів, знижуючи його технологічність та підвищуючи ціну.

Хромування та інші гальванічні покриття збільшують ресурс ствола не навантажуючи бійців та не ускладнюючи виробництво боєприпасів, але може вплинути на геометрію ствола, знижуючи бойові характеристики.

Відповідно, при розробці комплексу модернізації гармат необхідно зробити вибір, змістивши баланс ціна/надійність/ефективність в бік підвищення двох параметрів за рахунок зниження третього.

Виклад основного матеріалу

Опираючись на досвід ремонтно-відновних робіт в промисловості та сучасні наукові розробки, зокрема і в військовій галузі, ми можемо умовно виділити два основних підходи по відновленню та підвищенню зносостійкості, як рухомих деталей так і стволів стрілецької зброї і артилерії зокрема.

Це відповідно, зовнішні та внутрішні методи впливу на деталь. Зовнішні методи, до яких ми відносимо дугове наплавлення, контактну наварку металевого шару, газо термічне і ін. методи наплення, а також нанесення гальванічних і полімерних покриттів, широко застосовуються в промисловості і при виготовленні стволів стрілецької зброї і гармат зокрема. В даному аспекті найчастіше згадується гальванічне та дифузійне (теплове) хромування, що є різновидом антикорозійних покриттів, а також різні методи наплення і нарощування шару металу як варіант методик відновлення. Відповідно захисний шар може бути як однієї природи з металом ствола так і мати інші властивості (своєрідний композит, щоправда даний підхід більше застосовувався для броні).

До внутрішніх методів можна віднести ті, що передбачають вплив на метал для відновлення його початкової форми або надання нових властивостей. Це пластична деформація, електроерозійне легування, плазмова обробка поверхні, ультразвукове зміцнення, різні варіанти загартовування та цементації. Варіант з легуванням та цементацією не віднесено до зовніш-

ніх, так як шар нового матеріалу насичує поверхню металу на незначні розмірності в 5-30 мкм, що можна віднести скоріше до зміни властивостей металу.

Так як хромове покриття є досить поширеним, але складним в нанесенні, для чого потрібен гальванічний цех, необхідно відшукати альтернативні варіанти, а також методи нанесення такого покриття.

Активно ведуться розробки інших варіантів захисних покриттів, зокрема полімерні покриття, що можуть наноситись як напиленням так і нарощуванням тепловим методом. Існують апробовані методики [7] з використанням ультрадисперсних порошків, які готують з природного мінералу або суміші природних мінералів, вибраних з ряду шаруватих силікатів, що включають різні структурні модифікації складу $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$. У прототипі виходять наступні характеристики стовбура:

- товщина покриття мінлива – від 5 до 20 мкм – по довжині і діаметру стовбура;
- покриття не поступається хромуванню по зносостійкості;
- покриття перевершує метод хромування з внутрішньої та зовнішньої балістики стовбура, тобто, зокрема, за початкової швидкості вильоту снаряда.

В даному випадку нанесення полімерного шару відбувається механічним методом з попереднім нагрівом, що є беззаперечною перевагою в тому числі і як варіант для адаптації для польових умов (також як тимчасова заплата). В той же час з усіх розглянутих, метод нанесення полімерних «заплаток» найпростіший в плані адаптації до використання «уже зараз». Основною проблемою залишається непередбачуваність розмірів такого покриття, що безумовно, буде вирішено науковцями у найближчому майбутньому.

Теоретично обґрунтовується можливість регенерації пластичних деформацій захисного шару за рахунок матеріалів з так званою «пам'яттю форми» [8]. Загальновідомими є метод пластичної деформації що при нагріванні до 90-150 градусів Цельсію дозволяю повернути форму деформованим металевим деталям. Сплав міді, марганцю і кремнію за тих же умов повністю поверне форму захисного покриття, що

дозволить поновлювати деформований захисний шар простим нагріванням аж до вигорання цього шару, що для польових умов значно простіше ніж повторне нанесення покриття самостійно. Звичайно, ефективність таких матеріалів необхідно перевіряти експериментально, підбираючи оптимальні параметри.

Висновки

Визначено, що основними чинниками, що викликають зношування мінометних стволів є агресивний кінетичний, тепловий та хімічний вплив порохових газів. Проведено аналіз основних методів підвищення стійкості внутрішньої поверхні артилерійського ствола, що застосовуються в Україні та світі. Визначено три основних напрямки: лейнери, одноразові антифрикційні і флегматизаторні покриття та довговічні гальванічні і полімерні покриття. Кожен з методів показав свої переваги та недоліки.

Основними спірними моментами стали необхідність одночасно пластичної, хімічної та фізичної стійкості металу, що неможливо без комплексного підходу або вибору на користь одного з параметрів в системі ціна/якість/ефективність.

Визначено, що основна наукова діяльність в даному напрямку крім традиційного підбору матеріалів для стволів та методів охолодження і гальванічного захисту передбачає дослідження властивостей полімерних покриттів, що поки що виходять не передбачуваними за своїм розміром. Іншим новим напрямком є спроба пристосувати властивості пам'яті металів для самовідновлення покриттів, але далі теоретичних розробок це питання не розширилось.

Таким чином, зазначені вище питання дозволили розглянути основні проблеми активної ерозії металів в агресивних умовах на прикладі одного з найбільш показових в цьому плані роду військ – артилерії. Можливість розглянути поширені методи вирішення основних проблем в даній галузі може стати основою для адаптації методів з суміжних галузей, або утворення синтетичних методів, заснованих на комплексному використанні частини описаних в потрібних умовах, з найбільш підходящими матеріалами і з найбільшою ефективністю.

ЛІТЕРАТУРА

1. Нгуен Чьонг Шинь Обоснование технической и технологической возможности восстановления стволов артиллерийских орудий, исчерпавших свой технический ресурс из-за эрозионного износа канала / Технология машиностроения: Санкт-Петербург – 162 с. Интернет ресурс: Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/content/obosnovanie-tekhnicheskoi-i-tehnologicheskoi-vozmozhnosti-vozstanovleniya-stvolov-artillerii#ixzz3hgQEUCFa>
2. Артилерійські гармати : у 5 ч. Частина I. Стволи і затвори : навч. посіб. / А. Й. Дерев'янчук, А. В. Гурнович. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 193 с.
3. Г. Бабат Сбывшееся и несбывшееся (Записки инженера-электрика) / Писатели о науке. Сб. 2, 1962 // Электронный ресурс: <https://fantlab.ru/article685>
4. «Как ковался Германский меч – Промышленный потенциал Третьего рейха», («Die Deutsche industrie im kriege, 1939–1945») 2006 «Яуза», «Эксмо», перевод Г. Смирнов, В. Шаститко.
5. А. В. Палехин, инж. (КБАВ, г. Киев) Живучесть и долговечность (К 20-летию Государственного предприятия «Конструкторское бюро «Артиллерийское вооружение») / Артиллерия и стрелковое вооружение. № 2, 2006 – Интернет ресурс: <http://btvt.narod.ru/raznoe/kba20.htm>
6. Никифоров Н. Н., Туркин П. И., Жеребцов А. А., Галиенко С. Г. Артиллерия / Под общ. ред. Чистякова М. Н. – М. : Воениздат МО СССР, 1953.
7. Класи МПК для винаходу Спосіб формування покриття внутрішньої поверхні ствола вогнепальної зброї (RU 2479672).
8. Ооцука К., Симидзу К., Судзуки Ю. Сплавы с эффектом памяти формы: Пер. с яп. / Под ред. Х. Фунакубо. – М. : Металлургия, 1990. – 224 с.

А. И. Случак,
Черноморский государственный университет им. Петра Могилы, г. Николаев, Украина

ОБЗОР ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ УСКОРЕННОГО ИЗНОСА ВНУТРЕННЕГО КАНАЛА АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СТВОЛОВ

К данному обзору представлен список основных структурно-технологических методов предотвращения ускоренного сноса внутреннего канала артиллерийских стволов. Безусловно, основная причина сноса это выгорание металла внутренней поверхности ствола. Как основные методы предотвращения сноса стволов и их обновления указано: лейнерирование, наращивание металла, хромирование, антифрикционные смеси. Основной проблемой стала адаптация методов от смежных секторов промышленности, или образование синтетических методов основанных на сложном использовании части описанного в необходимых временных рамках, с наиболее эффективными материалами и в оптимальных количествах.

Ключевые слова: *ствол; артустановка; эрозия канала ствола; баллистическая смерть ствола; лейнер; флегматизаторы; защитные покрытия.*

A. I. Sluchak,
Petro Mohyla Black Sea State University, Mykolaiv, Ukraine

REVIEWS OF BASIC STRUCTURALLY-TECHNOLOGICAL METHODS OF PREVENTION OF SPEED-UP WEAR OF INTERNAL CHANNEL OF ARTILLERY GUN

To this review the list of basic structurally-technological methods of prevention of speed-up wear of internal channel of artillery barrels is driven. Certainly, that principal reason of wear is burning down of internal skim of metal without violation of form of barrel. The basic methods of prevention of wear of barrels and their renewal are indicated such as: laynering, increase of metal, chrome-plating, sheeting, anti-friction mixtures. Basic is a problem of adaptation of methods from contiguous industries, or formation of the synthetic methods based on the complex use of part of described in necessary terms, with the most suitable materials and with most effective.

Key words: *Barrel; artillery gun; erosion of channel of barrel; ballistic death of barrel; layner; Phlegmatized; sheeting.*

Рецензенти: *Клименко Л. П., д-р техн. наук, професор;
Соловйов С. М., канд. техн. наук, професор.*

© Случак О. И., 2015

Дата надходження статті до редколегії 16.06.2015