

Писаренко В.Г.КНВО "Форт" МВС України,
м. Вінниця, Україна**АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЗНОШУВАННЯ
СТВОЛІВ СТРІЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ****Вступ**

У процесі пострілу із зброї з нарізним стволом снаряд набуває заданої лінійної й кутової швидкості, що забезпечує йому необхідну дальність і стійкість польоту по траєкторії [1]. В задній частині снаряду або патрона є один або два ведучих паска (у вигляді кілець, закріплених на корпусі) з відносно м'яких матеріалів. При врзанні ведучого паска в нарізи ствола відбувається закручування снаряду навколо своєї осі, в той же час зона ковзного контакту (ведучий пасок - нарізи) повинна запобігати витоків порохових газів в напрямку руху снаряда.

Процес фрикційної взаємодії ведучого паска з нарізами каналу ствола супроводжується зносом обох елементів пари тертя, яка розглядається. Термін служби каналу ствола визначається допустимою величиною втрати початкової швидкості снаряду при вильоті зі зброї, або втратою стійкості його в польоті. Зазвичай він визначається декількома тисячами пострілів, що відповідає часу експлуатації ствола до 10 с. Надмірний знос ведучого паска може призвести до появи зазора між паском і стволом, прориву порохових газів в цей зазор, виникненню одностороннього контакту корпусу снаряду з каналом ствола і, як наслідок, до підвищеного зносу ствола. На корпусі такого снаряду після пострілу видно сліди нарізів ствола.

Під ресурсом стволів стрілецької зброї розуміють кількість пострілів до досягнення стволом критерія граничного стану. Критерій граничного стану оговорується в технічних умовах на зброї.

Погіршення кучності, тобто зріст розсіювання пробієн, настає як внаслідок діаметрального зносу каналу ствола, так і внаслідок його нерівномірності по довжині ствола. Таким чином, ресурс ствола залежить від величини, інтенсивності і характеру зноса каналу ствола.

Дослідженням процесу зносу стволів вогнепальної зброї займався цілий ряд вчених: Д.К. Чернов, А.А. Благонравов, В.Є. Слухоцький, Н.Ф. Дроздов, Ю.В. Чуєв, Є.І. Совз, А.Г. Шипунов, В.В. Свешніков, В.С. Логвінов, Нобль, Шарбоньє, Габо, Летан та інші. [1, 2]

Ці дослідження були присвячені як стволам артилерійської зброї з роздільним и гільзовим зарядженням, з поодиначними пострілами, так і стволам автоматичної зброї. В загальному випадку, зносом називають залишкові зміни форми або розмірів на поверхнях твердих тіл внаслідок тертя. Стосовно снайперської зброї знос каналу ствола є результатом його взаємодії з двома фізичними тілами - порохом газом, що утворюється в результаті згорання порохового заряду, і кулею.

Процеси фізико-хіміко-механічної взаємодії системи «ствол-патрон»

Структурні перетворення в поверхневому шарі матеріалу стволів можна представити наступним чином. Під час пострілу, внаслідок високих температур і тиску, виникає цементация сталі: завдяки дифузії вуглецю утворюється твердий розчин вуглецю в сталі, який при охолодженні виділяється у вигляді карбіда заліза (Fe_3C). Шар, який при цьому утворюється називають «білим шаром». Дослідження білого шару дозволили висловити припущення, що насичений вуглецем рідкий метал, який утворюється на поверхні каналу ствола, швидко твердіє після пострілу і утворює тонкий шар мілкозернистої евтектики Fe_3C і Fe зі значним вмістом аустеніту. Цементований шар плавиться при температурі 1150 °С, в той час як температура плавлення основного металу складає 1450 °С, що викликає утворення тріщин. При цьому кисень окислює поверхню каналу ствола.

Навіть при одиничному пострілі нагрів приповерхневого шару стінки ствола викликає фазове перетворення структури металу в аустеніт при порівняно помірних температурах – близько 725 °С. При охолодженні утворюється невідпущений крихкий мартенсит з залишками аустеніта. При циклічній зміні температури ствола, яка супроводжується фазовими перетвореннями, невідповідність об'ємів кожної з фаз призводить до виникнення напружень и утворенню тріщин. В приповерхневому шарі утворюються великі термічні напруження через великі відмінності в коефіцієнтах розширення аустеніта і ферита, що викликає при циклічному нагріві - охолодженні виникнення сітки тріщин.

Інколи білий шар складається з двох різних шарів: зовнішнього, який включає в себе карбіди заліза, оксиди, нітриди і сталь як в аустенітній, так і в мартенситній фазах, і внутрішнього, що містить вуглець і азот, які розподілені в аустеніті. Аустенітна фаза має низьку межу текучості, високу пластичність, тому більш піддається хімічному впливу; мартенситна структура має високу межу текучості, але значно меншу пластичність і схильність до тріщиноутворення, тому чутлива до механічного зносу.

Окрім хімічного і структурно-фазового впливу, пороховий газ справляє механічний і термічний вплив на приповерхнений шар каналу ствола.

За час пострілу, тривалістю в тисячні долі секунди, поверхня каналу ствола в запульному просторі піддається впливу порохового газу з максимальними величинами тиску більше 300 МПа і температурою більше 2700 °С. Фізичний стан приповерхневого шару під впливом порохового газу змінюється наступним чином: в перший момент в ньому виникають напруження розтягу за рахунок дії тиску порохового газу. Потім приповерхневий шар нагрівається за рахунок тепловіддачі порохового газу до високої температури і прагне подовжитись і розширится. Але навколишні, не нагріті шари металу не дають йому цього зробити, в результаті чого в цьому шарі виникають тангенціальні температурні напруження розтягу, які утворюються тиском порохового газу.

За рахунок лінійного розширення приповерхневого шару і зміни механічних властивостей матеріалу в ньому виникають напруження стискання. Напруження стискання в приповерхневому шарі каналу ствола в перерізі, віддаленому на відстань x від казеного зрізу визначаються залежністю [1]:

$$\sigma_x = \frac{\alpha_T E}{1 - \mu} (T_{x_{KH}} - T_H), \quad (1)$$

де α_T – коефіцієнт лінійного розширення;

E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуасона;

$T_{x_{KH}}$ – температура приповерхневого шару каналу ствола;

T_H – початкова температура стінки ствола.

Якщо розподіл температури по товщині стінки таке, що:

$$\frac{\alpha_T E}{1 - \mu} (T_{x_{KH}} - T_H) > \sigma_T, \quad (2)$$

де σ_T – межа текучості, то в стволі з'являється пластично деформована зона стискання зі сторони внутрішньої поверхні.

Стиснутий тонкий шар діє на основну товщину ствола як додатковий внутрішній тиск; крім того він є джерелом тепла.

Після закінчення теплового імпульсу приповерхневий шар каналу ствола починає вистигати, віддаючи тепло решті металу ствола, напруження стискання в приповерхневому шарі знімаються і виникають розтягучі напруження за рахунок лінійного стиснення.

Таким чином, при поодиначному пострілі приповерхневий шар каналу ствола під дією порохових газів зазнає циклічних навантажень: розтяг-стискання-розтяг. В результаті на поверхні каналу ствола виникає сітка тріщин, з розмірами, які поступово зменшуються до дульної частини.

Температура поверхні каналу ствола залежить від інтенсивності тепловіддачі порохового газу і теплової активності металу, яка характеризує внутрішню передачу тепла в товщу стінки.

При розв'язанні задачі про теплообмін між пороховим газом і поверхнею каналу ствола, використовують закон Ньютона-Ріхмана:

$$\frac{dq_x}{dt} = \alpha(T - T_{KH,x}), \quad (3)$$

де q_x – кількість тепла, яка вводиться в ствол при пострілі за рахунок тепловіддачі порохового газу через одиницю площі поверхні каналу;

α – коефіцієнт тепловіддачі порохового газу;

T – температура порохового газу;

$T_{KH,x}$ – температура поверхні каналу ствола в розрахунковому розрізі, віддаленому на відстань x від казеного зрізу каналу ствола. При поодиначному пострілі, нехтують тепловіддачею з зовнішньої поверхні в осьовому напрямку.

Взаємодія кулі з каналом ствола визначається тиском порохового газу, швидкістю кулі і конструкцією кулі [5], від яких залежить величина сили тертя в парі «куля-канал ствола». Сила тертя F_{TP} залежить від радіального контактного напруження σ_r і коефіцієнта тертя f [1]:

$$F_{TP} = \int_0^{l_n} 2\pi r f \sigma_r dl, \quad (4)$$

де l_n – довжина ведучої частини кулі;

r – еквівалентний радіус поверхні тертя кулі.

Найбільш поширеними є оболонкові кулі, конструкція яких складається з біметалевої оболонки, в середині якої або послідовно розташовані сталевий і свинцевий сердечники, або коаксіально сталевий сердечник і свинцева рубашка.

Внаслідок імпульсного характеру навантаження кулі при пострілі свинець переходить у в'язко-пластичний стан, передаючи навантаження по всім напрямкам однаково як пластично нестискаюче середовище. Тому радіальне контактне напруження буде визначатися сумою осевого σ_{roc} і відцентрового напруження $\sigma_{тцц}$ від інерції свинцевої рубашки або сердечника і відцентровою силою σ_{re} від ексцентриситета центра мас кулі, який виникає з технологічних причин.

Тертя та зношування нарізного ствола стрілецької зброї

Розглядаючи рух снаряду по каналу ствола доцільно виділити три ділянки: початкова (ділянка врізання ведучого паска в нарізи), середня і дульна. Ці ділянки відрізняються одна від одної контактними тисками і швидкостями ковзання. Відома методика В.А. Балакіна [8] експериментального визначення сил тертя в процесі пострілу, яка основана на використанні рівняння руху снаряду по каналу ствола у вигляді:

$$m \frac{dV}{dt} = F - T, \quad (5)$$

де m – маса снаряда;

V – швидкість;

t – час;

F – сила тиску порохових газів;

T – сила тертя.

У рівнянні (5) відсутня сила аеродинамічного опору повітря, отже, ним можна користуватись тільки на початковій ділянці руху, коли швидкість снаряду ще мала.

В [8] розглянуті питання контактної геометрії, а також радіальних переміщень ведучого паска, корпусу снаряда і ствола під дією порохових газів. В початкові моменти врізання, коли швидкість ковзання ще мала, відбувається інтенсивне пластичне деформування поверхневих шарів ведучого паска більш жорсткими виступами нарізки ствола. Характер фрикційної взаємодії двох тіл в зоні ковзного контакту при цьому можна кваліфікувати як тертя без змащення. Зі збільшенням швидкості зростає інтенсивність тепловиділення. Приблизно через 130 мм шляху відбувається повне врізання ведучого паска в нарізи ствола, коефіцієнт тертя зменшується до значень, характерних для гідродинамічних режимів тертя. На підставі цього в роботах [4, 8] робиться висновок про плавлення поверхні тертя ведучого паска та подальшого руху снаряду зі змащенням.

Дослідження [8] показали, що знос по довжині ствола нерівномірний. Підвищений знос ствола спостерігається на ділянці врізання. Чим вища твердість матеріалу ведучого паска, тим інтенсивніший знос ствола. Використання полімерних і пластмасових пасків збільшує строк використання ствола. Застосування пасків з відпаленого заліза веде до більшого (в порівнянні з міддю і мідним сплавом) зносу нарізів ствола. Крім тертя на знос ствола зброї діє термічний, хімічний і механічний вплив порохових газів, які викликають ерозію каналу ствола. Ряд компонентів порохових газів вступає в хімічну реакцію з нагрітою поверхнею ствола, змінюючи її фізико-хімічні властивості і в, зокрема, знижуючи температуру плавлення.

В лабораторних умовах моделювання процесів фрикційної взаємодії снаряду з каналом ствола зброї проводилось [1] на спеціальній дисковій установці при швидкостях до 600 м/с. Установка складалася з диска діаметром 610 мм, який через коробку швидкостей приводився до обертання за допомогою електродвигуна. Диск виготовлений з матеріалу ствола знаряддя. До плоских (торцевих) поверхонь диска поблизу його периферії притискалися (торцем) циліндричні зразки діаметром 2 мм. Зусилля притискання створювалось пневмоциліндром. Зразки мають можливість рухатись по радіусу до центру диска, в результаті чого здійснюється тертя по новому сліду. Радіальний рух зразків здійснювався від автономного електропривода. В процесі випробувань за допомогою тензометрії вимірювались сили тертя і номінальний тиск. Одночасно реєструвалась кутова швидкість диска, а після випробувань лінійний знос зразків.

Максимальну температуру на поверхні тертя нарізів ствола в зоні фрикційного контакту можна визначити за допомогою теорії Блока, використовуючи формулу [1]:

$$\vartheta_{\max} = 2fp(bV/\pi\lambda c\rho)^{1/2}, \quad (6)$$

де ϑ_{\max} – максимальна температура на ковзаючому контакті;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

c – питома теплоємність;

ρ – густина;

b – довжина контакту.

З виразу (6) знаходять коефіцієнт тертя:

$$f = C \left(\frac{T_{пл} - \vartheta_0}{\rho} \right) (\lambda \rho c / bV)^{1/2}, \quad (7)$$

де C – константа;

$T_{пл}$ – температура плавлення матеріалу паска;

ϑ_0 – початкова температура.

В зоні контакту утворюється рідка плівка змінної товщини в результаті фрикційного нагріву і плавлення поверхневих шарів повзуна. При цьому вважається, що плівка розплаву є ньютонівською рідиною і має постійну густину; все тепло, що виділяється в плівці при її зсуві, йде на плавлення повзуна; течія рідкої плівки в зазорі описується одномірним рівнянням Рейнольдса.

Використання рівнянь гідродинамічної теорії змащування в роботі [8] стало можливим в результаті припущення, що зазор між повзуном і контртілом, заповнений розплавом, має профіль аналогічний профілю зазора в радіальних підшипниках ковзання (тобто, який спочатку звужується, потім розширюється). Задача про оплавлення повзуна при високих швидкостях ковзання розглянута в припущенні, що поверхня плавлення повзуна і поверхня контртіла паралельні, а товщина плівки вздовж контакту постійна. У вказаному підході однак не враховується шорсткість контртіла (нарізів каналу ствола). Модель взаємодії повзуна з контртілом при умові паралельності рухомої розплавленої поверхні і поверхні нерухомої значно спрощена, особливо для таких нестационарних процесів, як рух снаряда по каналу ствола. Питання механіки контакту, теплофізики тертя і теорії змащування при наявності фрикційного переносу в зоні ковзаючого контакту ведучий пасок - нарізи ствола є складними і недостатньо вивченими. Але, представлені вище моделі дають уявлення про стан питання по теорії тертя і зноса в каналах нарізних стволів артилерійської і стрілецької зброї.

В загальному випадку знос каналу ствола залежить від параметрів, які наведені в таблиці [1].

Таблиця 1

Елемент	Група параметрів	Параметр
Ствол	геометрія каналу ствола	діаметр по полям нарізів; число і крок нарізів; ширина нарізів; довжина ствола
	приповерхневий шар каналу ствола	хімічний склад; фазовий стан; шорсткість; коефіцієнт тертя зрушення кулі; межа текучості; межа міцності; твердість; коефіцієнт лінійного розширення
Пороховий заряд	параметри інтенсивності газоутворення	імпульс тиску за час горіння пороха; коефіцієнт форми зерна; показник закону зміни поверхні горіння; характеристика моменту розпаду зерен
Гільза		об'єм зарядної камери; тиск розпатрунування
Куля	геометрія кулі	діаметр кулі; довжина напрямної частини кулі; діаметр свинцевої рубашки; діаметр сталевго сердечника; товщина оболонки; товщина покриття оболонки
	масові характеристики	маса кулі; маса свинцевої рубашки; ексцентриситет мас кулі
	матеріал	густина матеріалу оболонки; густина матеріалу рубашки; коефіцієнт Пуасона для матеріалу рубашки; матеріал покриття оболонки

З таблиці видно, що знос каналів стволів і відповідно ресурс стволів зброї є результатом комплексного впливу різних за своєю природою факторів, величина і ступінь участі в зносі яких, залежить від сполучення ряду параметрів системи «ствол-патрон», які закладені конструктором на стадії проектування.

Трибологічні фактори граничного стану стволів зброї

Я було сказано вище, оцінка ресурса стволів стрілецької зброї виконується по кількості зроблених пострілів до досягнення стволом критерія граничного стану. Для срілкової зброї існує декілька критеріїв граничного стану, встановлених відносно паспортних значень параметрів: зменшення

початкової швидкості куль на 5 % і більше, збільшення розсіювання куль більш ніж в 2 рази; поява більше 50 % овальних і бокових пробоїн.

Збільшення розсіювання куль може наставати як за рахунок діаметрального зноса каналу ствола, коли не забезпечується необхідне обертання і швидкість кулі і, відповідно, стійкість її руху по траєкторії, так і внаслідок нерівномірного зносу по довжині ствола, яке утворює збурювання кулі при виході з її ствола, хоча стійкість руху кулі при цьому може забезпечуватись.

Під зносом ствола розуміють незворотні зміни поверхні каналу ствола, обумовлені впливом на неї пострілу. Знос ствола це не тільки зміни розмірів і форми його каналу, але і утворення на ньому сітких тріщин, хімічні і структурні перетворення в матеріалі, остаточні деформації поверхні і т. і.

Засновником теорії зносу каналів стволів вважається професор Д.К. Чернов, який показав, що зниження ресурса ствола відбувається внаслідок появи на поверхні каналу ствола тріщин [9]. Найбільш розвинені і глибокі тріщини з'являються в казенній частині. Появу тріщин Д.К. Чернов бачив в різких термічних змінах каналу ствола при пострілі. З причини теплового, хімічного впливу гарячих газів, механічної взаємодії снаряду зі стволом з'являються тріщини, які утворюють, по мірі збільшення числа пострілів, замкнуті петлі. Прорив газів між стінкою ствола і снарядом викликає ерозійний знос ствола, який призводить до втрати початкової швидкості і порушенню правильності польоту кулі. В теперішній час існує розуміння, що визначальним для зношування каналів стволів є знос за рахунок впливу ведучих елементів куль у вигляді трибологічного зносу і порохових газів у вигляді трибологічної деструкції - термодинамічного, газодинамічного, ерозивного зносу. Питання трибологічного зносу розглянуті авторами в роботах [10, 11].

Термодинамічний вплив порохового газу. Картина фізичного стану приповерхневого шару каналу ствола при одиночному пострілі, який супроводжується дією високого тиску порохового газу і теплового імпульса, така: оскільки тепло не відразу передається стінці циліндра, то спочатку виникають напруження і деформації тільки за рахунок внутрішнього тиску. Для спрощення приймають, що ці напруження пружні.

Динамічний стан порохового газу для піродинамічного періоду, що змінюється, описується системою рівнянь [12]:

$$\text{- зміна внутрішньої енергії газу в закульному об'ємі: } \frac{dU}{dt} = -\bar{p}SV(\mathbf{l});$$

$$\text{- середньомасовий тиск в каналі ствола: } \bar{p} = (k-1) \frac{U}{W_0 - bm_\omega + Sl};$$

$$\text{- тиск біля дна кулі: } p(l) = \frac{\bar{p}}{1 + \frac{1}{3} \frac{m_\omega}{m_q}};$$

$$\text{- швидкість кулі: } \frac{dV(l)}{dt} = \frac{S}{m_q} p(l);$$

$$\text{- шлях кулі: } \frac{dl}{dt} = V(l);$$

$$\text{- розподіл тиску по довжині закульного простору: } p(x) = p(0) - [p(0) - p(l)] \frac{x^2}{(l_0 + l)^2};$$

де U – внутрішня енергія порохового газу;

t – час;

\bar{p} – середньомасовий тиск;

k – відношення теплоємності при постійному тиску і постійному об'ємі;

W_0 – об'єм зарядної камори;

b – коволюм порохового газу;

m_ω – маса порохового заряду;

S – площа поперечного зрізу каналу ствола;

l – шлях дна кулі по каналу ствола;

$p(l)$ – тиск біля дна кулі;

m_q – маса кулі;

$V(l)$ – швидкість газу біля дна кулі (швидкість кулі);

l_0 – приведена довжина зарядної камори.

При згоранні порохового заряду тільки 25 - 30 % енергії, що виділяється витрачається в якості корисної роботи на викид кулі. На врізання в нарізи і подолання тертя кулі при русі по каналу ствола нагрівання стінок ствола, гільзи, шляху, переміщення рухомих частин в автоматичній зброї, викид газоподібної і незгорівшої частини пороха - використовується до 20 % енергії порохового заряду. Близько 40 % енергії не використовується і губиться після вильоту кулі з каналу ствола.

Умови теплообміну при пострілі такі, що швидкість зміни температури досить велика і при дослідженні теплових напружень в тілах слід враховувати динамічні ефекти, обумовлені рухом частинок твердого тіла при швидкому тепловому розширенні. В процесі теплового удару різка зміна температури тіла відбувається тільки в надто тонкому приповерхневому шарі, які прилягає до його поверхні.

Різка зміна температури тіла в процесі теплового удару відбувається тільки в надто тонкому приповерхневому шарі, тому, на відмінність від вище розглянутих задач термопружності, при тепловому ударі в рівняннях руху не враховується інерційні (Даламберові) сили [12]. При тепловому ударі великої інтенсивності в приповерхневому шарі виникають значні пластичні деформації стискування, після закінчення удару вони міняють знак, досягаючи приблизно тої ж абсолютної величини.

Для теорії теплового удару і напруженості граничного шару не суттєво, рівномірно чи нерівномірно в різних точках поверхні тіла відбувається тепловіддача, суттєво тільки, щоб градієнти температур в будь-якому напрямку на поверхні тіла були значно менші градієнта температури по глибині граничного шару [13].

При тепловому ударі в каналі ствола під дією температури і внутрішнього тиску відбуваються наступні явища. В приповерхневому шарі металу ствола, на протязі часу дії теплового імпульса, виникають тангенціальні і осьові стискаючі напруження, які перевищують межу текучості і викликають пластичні деформації стискування порядку 1 % [13]. По закінченні дії теплового імпульсу у вказаному шарі металу тангенціальне і осьове напруження стають розтягуючими, інтенсивність напружень перевищує межу текучості. При цьому тангенціальна і осьова пластичні деформації видовження знову досягають значень порядку 1 % [13]. При багаторазовій дії теплових імпульсів тонкий шар металу зазнає повторних знакозмінних пластичних деформацій, що викликає втомне руйнування.

Після досягнення межі втоми і утворення великої кількості мікротріщин, відстань між якими значно менша товщини приграничного шару металу, при наступних теплових імпульсах повинен початися інтенсивний знос приповерхневого шару каналу ствола. Якісна сторона явищ, які описуються вперше встановлена Д.К. Черновим [9]. Таким чином, при одиночному тепловому імпульсі внутрішній шар металу двічі або (у випадку достатньо великого максимального внутрішнього тиску) тричі виходить за межу пружності, отримуючи спочатку від максимального тиску невелике видовження порядку 0,3 %, потім значне стискування від дії високої температури порядку 1 % і потім за рахунок повного вистигання значне видовження порядку 1 % [14, 15].

Газодинамічний вплив порохового газу. При сильному нагріві внутрішньої поверхні каналу ствола і наявності потоку порохового газу вздовж осі каналу однією з можливих причин руйнування приповерхневого шару може бути газодинамічний винос металу, який не ще приходить в рідкий або газоподібний стан [15].

Інтенсивний винос твердої речовини з поверхні починається з моменту, коли швидкісний напір газу або рідини $\rho V^2 / 2$ стане порядку межі текучості σ_s нагрітого поверхневого шару металу. Отже основним параметром, що характеризує газодинамічне винос поверхневого металу потоком рідини або газів, буде: $\Gamma = \frac{\rho V^2}{2\sigma_s}$. Тобто граничний стан виникає при Γ , близькому або більшому одиниці.

Ерозивний знос каналу ствола. Ерозивне руйнування - процес динамічний, тому він не може бути ефективно проаналізований на основі традиційних статичних критеріальних співвідношень, яким є, наприклад, критерій критичного напруження. В аналізі процесів ерозійного руйнування користуються підходами М.Ф. Морозова, В.І. Смірнова, Ю.В. Петрова [15]. Найважливішою особливістю ерозійного процесу є те, що при цьому поверхня піддається впливу коротких динамічних імпульсів напруження. Оцінка можливості руйнування в таких умовах може бути проведена тільки на основі критеріїв, які враховують специфіку швидкісного динамічного розриву твердих тіл.

Фрактографічний аналіз показав [1], що при ерозійному руйнуванні визначальним фактором є утворення кільцевих тріщин, утворених контактною динамічною взаємодією летючих твердих частинок з поверхнею. В експериментах по ерозійному руйнуванню використовують дрібні сферичні частинки розмірами до сотен мікрометрів, які при контактній взаємодії з поверхнею утворюють короткі руйнуючі імпульси. За їх характеристиками і граничною швидкістю удару, при якій починається ерозійне руйнування поверхні, можна визначити елементарний «квант» руйнування і відповідний йому інкубаційний

час. З іншого боку за визначальними параметрами руйнування, можна визначити характеристики ерозійного процесу.

Хімічна дія порохового газу. Склад порохових газів впливає на зношування поверхні каналу ствола. Хімічна енергія палива перетворюється в кінетичну енергію газів і далі в кінетичну енергію об'єкту. Внаслідок хімічної дії газів в каналі ствола можуть мати місце явища: цементації, окислення, нітрування, утворення твердих розчинів азота, водню з залізом. Поверхневий шар каналу ствола стає більш крихким, легкоплавким, з утворенням нітратів заліза.

Процеси, що відбуваються в каналі ствола є нерівноважними в просторі і нестационарними в часі. Постріл протягом десятків мілісекунд характеризується високим тиском до 600 МПа і високими температурами до 3000 К. Потенційна хімічна енергія пороху претворюється в результаті тертя в теплову енергію порохових газів; теплова енергія порохових газів в кінетичну енергію руху кулі. Хімічні гетерогенні реакції не проявляють суттєвої ролі в процесах взаємодії поверхні каналу ствола з пороховими газами. В нагарі ствола містяться продукти хімічної взаємодії порохових газів з металами ствола і кулі. Залізо, мідь, свинець знаходяться в нагарі у вигляді окислів і вуглекислих солей, оміднення стволів є результатом дії порохових газів на мідь. Додаток свинцю до порохового заряду зменшує вигорання міді [1].

Література

1. Дроздов Ю. Н. Прикладная трибология (трение, износ, смазка) / Ю. Н. Дроздов, Е. Г. Юдин, А. И. Белов. – М.: Эко-Пресс, 2010. – 604 с.
2. Ханов Г.В., Кучеров В.Г., Садовников В.И. и др. Физические основы устройства и функционирование стрелково-пушечного, артиллерийского и ракетного оружия. Часть 1. Учебник, Волгоград: РПК "Политехник, 2002 г. . – 560 с.
3. Дроздов Ю.Н. Прогнозирование изнашивания с учетом механических, физико-химических и геометрических факторов / Ю.Н. Дроздов // Современная трибология. Итоги и перспективы; под ред. К.В. Фролова.– М. 2007. – С. 24-32.
4. Платонов Ю.П. Термогазодинамика автоматического оружия / Ю.П. Платонов // М.: Машиностроение, 2009. – 356 с.
5. Взаимосвязь износа каналов стволов снайперского оружия с конструкцией пули / В.К. Зеленко, В.М. Королев, Ю.Н. Дроздов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 3. – С. 83-87.
6. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков // М.: Машиностроение. – 1986, 220 с.
7. Дроздов Ю.Н. Противозадирная стойкость трущихся тел / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Арчegov, В.И. Смирнов // М.: Наука, 1981, 139 с.
8. Балакин В.А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения / В.А. Балакин // М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.
9. Зеленко В.К. Система вооружения антитеррора / В.К. Зеленко // В сб. Труды IX всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности», т.1. «Технические средства противодействия терроризму и оружие нелетального действия». – СПб.– 2006 – С. 301-311.
10. Серебряков М.Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет / М.Е. Серебряков // М.: Оборонгиз, 1962, 214 с.
11. Д.К. Чернов. О выгорании каналов в ствольных орудиях. Артжурнал, 1912, №7.
12. Взаимосвязь износа каналов стволов снайперского оружия с конструкцией пули / Зеленко В. К., Королев В. М., Дроздов Ю. Н. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 3. – С. 83-87.
13. Зеленко В.К., Королев В.М., Дроздов Ю.Н. Основные факторы влияния на ресурс стволов снайперского оружия.
14. Платонов Ю.П. Термогазодинамика автоматического оружия. / Ю.П. Платонов // М.: Машиностроение, 2009 – 356 с.
15. Огибалов П.М., Грибанов В.Ф. Термоустойчивость пластин и оболочек / П.М. Огибалов, В.Ф. Грибанов // Изд-во Моск. Универст., 1968, 520 с.
16. Ильюшин А.А., Огибалов П.М. Теория теплового расчета толстостенных труб в упругой и упруго-пластической областях / А.А. Ильюшин, П.М. Огибалов // «Изв. артил. инж. академии им. Ф.Э. Дзержинского». – 1958. – 109 с.
17. Морозов Н.В., Смирнов В.И., Петров Ю.В. Об эрозионном разрушении твердых тел. Механика контактных взаимодействий / Н.В. Морозов, В.И. Смирнов, Ю.В. Петров // М.: Физматгиз, 2001. – С. 640-650.

Надійшла 1.04.2012