

**SERBIATRIB`07**  
**10<sup>th</sup> International Conference on Tribology**  
**and**  
**WORKSHOP`07**  
**Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge**

---

---

**HABANJE UNUTRAŠNJE TRASE  
CEVI STRELJAČKOG ORUŽJA**

**Mr Desimir Jovanović, Zastava oružje AD, Kragujevac, Srbija**  
**Prof. dr Bogdan Nedić, Mašinski fakultet, Kragujevac, Srbija**

**Rezime:** Cev je najbitniji deo oružja (oruđa). Ona predstavlja element u kome se vrši dvostruka transformacija energije: hemijska energija sagorevanja baruta pretvara se u toplotnu, a zatim iz toplotne u mehaničku energiju. Cev projektilu omogućava potrebnu početnu brzinu i pravac poleta, a preko zavojnih žlebova, visoku rotaciju, potrebnu za stabilnost pri kretanju do cilja. Izloženost cevi kombinovanom dejstvu toplote, visokih pritisaka, hemijskom dejstvu barutnih gasova i spoljašnjim uticajima, ukazuje na nužnost sveobuhvatnog istraživanja ovog elementa oružja. Istrošenost cevi utiče na promenu balističkih karakteristika oružja, u prvom redu dovodi do pada početne brzine projektila. Zbog toga treba primenjivati odgovarajuće tribološke mere za produženje života cevi streljačkog oružja. Predmet rada je prikaz habanja unutrašnje trase cevi streljačkog oružja u eksploatacionim uslovima.

**Ključne reči:** Cev, habanje

**WEARINESS OF INTERIOR LINE  
OF BARREL OF SMALL ARMS**

**Summary:** Barrel is the most important part of any weapon. It represents the element in which double transformation of energy is done: chemical energy of gun powder burning is transformed into thermal energy, and then thermal energy is transformed into mechanical energy. The barrel gives a projectile needed velocity and direction of flight, and through spiral grooves it gives it high rotation, needed for stability during the motion towards the aim. The exposure of barrel to combined effect of heat, high pressure, chemical effect of gun powder gas and external influences, points to necessity of thorough research of this element of weapons. The barrel weariness implies on changing of ballistic properties of weapon, in the first place it leads to decreasing of projectile starting speed. Because of that, it is necessary to apply certain tribological measures for prolonging of life-cycle of small arms weapon. The subject of the paper is a display of interior line of small arms in working conditions.

**Key words:** Barrel, wearing out

## 1. UVOD

Cev predstavlja element u kome se vrši dvostruka transformacija energije: hemijska energija sagorevanja baruta pretvara se u toplotnu, a zatim iz toplotne u mehaničku energiju. Cev projektilu omogućava potrebnu

početnu brzinu i pravac poleta, a preko zavojnih žlebova, visoku rotaciju, potrebnu za stabilnost pri kretanju do cilja. Pri proučavanju unutrašnje - balističkog problema interesuje nas samo unutrašnja trasa cevi. Osnovni pojmovi koji definišu cev oružja (slika 1) su:

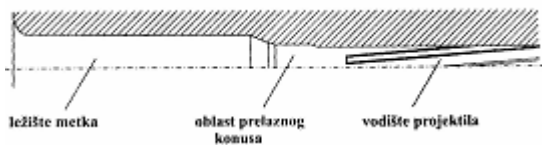
- ◆ barutna komora,
- ◆ prelazni konus, i

- ♦ vodište projektila.

**Barutna komora** - je prostor u kome je smešteno barutno punjenje pre opaljenja. Za konstruktore cevi, termin barutna komora podrazumeva celu unutrašnju neolučenu zapreminu cevi, osim prelaznog konusa. Za unutrašnju balistiku ovaj pojam predstavlja samo onaj u kome počinje da sagoreva barutno punjenje.

**Prelazni konus** – je konični deo cevi na koji se naslanja košuljica projektila. On spaja ožljebljeni deo cevi i glatki deo u koji se smešta čaura.

**Vodište projektila** – je prednji, obično ožljebljeni deo cevi po kojem se kreće projektil i koji mu određuje pravilno kretanje.



Slika 1. Unutrašnja trasa cevi

Udubljenja u olučenom delu nazivaju se žlebovi a ispučenja između dva žleba su polja. Kalibar oružja »d« je rastojanje između dva suprotna polja. Dubina žleba obično iznosi 0,01d. Sami žlebovi nisu paralelni osi cevi, nego su sa njom čine ivesni ugao  $\beta$ , za koji se definiše ugao uvijanja. Ugao uvijanja (kreće se od 3 - 9°) je najčešće konstantan duž cevi, a može biti i progresivan. Smer uvijanja žljeba je najčešće s leva na desno.

## 2. TRIBOMEHANIČKI SISTEM CEV - ZRNO

Radni vek vatrenog oružja ograničen je usled kompleksnog procesa mehaničkog i erozionog habanja. Kontaktne površine tela u dodiru, koje čine tribomehanički sistem cev-zrno, sastoje se od vrhova i udubljenja mikroreljefa, kontaminiranih raznim produktima dekompozicije ulja i aditiva. Pri sagorevanju barutnih gasova unutrašnja površina cevi oružja je izložena kombinovanom mehaničkom, termičkom i hemijskom delovanju. Ovi procesi dovode do oštećenja unutrašnje površine cevi i smanjenja balističkog života cevi. (Pod balističkim životom cevi podrazumeva se broj

metaka koje cev može da ispali a da se u znatnoj meri preciznost i domet ne umanje). Dolazi do pada mehaničkih karakteristika materijala cevi (pojava naprezanja i erozije, povećanje krтости površinskog sloja). Ove promena su izraženije ako su zahtevi za povećanjem dometa, preciznosti i brzine gađanja oštiji [2]. Izloženost cevi kombinovanom dejstvu toplote, visokih pritisaka, hemijskom dejstvu barutnih gasova visokoenergetskih karakteristika spoljašnjim uticajima, ukazuje na neophodnost sveobuhvatnog istraživanja ovog elementa streljačkog oružja. Uzroci habanja cevi su mnogobrojni, vrlo složeni i još uvek nedovoljno ispitivani. Zbog toga nije moguće unapred odrediti koliki će radni vek (život) cevi biti.

Tabela 1. Karakteristike elemenata u kontaktu

		cev	zrno
1.	materijal	Č 5730 Č 4832	tombak
2.	tvrdoća $HR_C$	60	34
3.	klasa hrapavosti	Ra 0,8	Ra 1,6
4.	relativno kretanje elemenata u kontaktu	klizanje	
5.	napomena	dodir po površini	

Za izradu cevi najčešće se koriste hrom-nikl-molibdenski (Cr -Ni -Mo) čelici zato što oni postižu najbolja svojstva od 350-400°C, njihova čvrstoća i žilavost rastu, a u cevi se dostiže temperatura do 400°C. Zrno je element koji se kreće duž cevi i koji leti kroz vazduh do cilja. Jezgro zrna je obično od olova, a košuljica od tombaka - legure bakra i cinka. Košuljica služi za urezivanje u žlebove cevi i za vođenje zrna duž cevi. Karakteristike elemenata u kontaktu date su u tabeli 1. Hemijski sastav materijala cevi i njegova termička obrada imaju veliki uticaj na proces habanja cevi i zato su predmet detaljnih i obimnih studija.

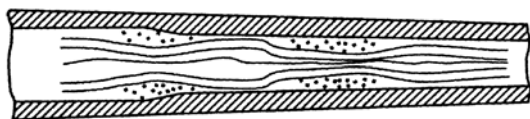
## 3. HABANJE CEVI

Habanje cevi se manifestuje na više načina ali su tri pojave karakteristične kod svih cevi:

- ♦ mehaničko habanje,
- ♦ erozija,
- ♦ pojava prstena.

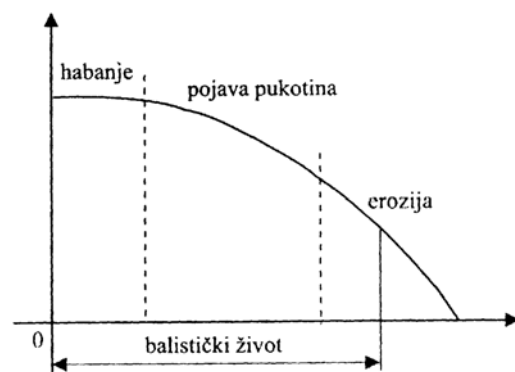
Mehaničko habanje, nastaje sa jedne strane izazvano trenjem klizanja košuljice po površini cevi i naročito je izraženo na prelaznom konusu i sa druge strane usijani barutni gasovi, bez obzira što proces traje samo nekoliko hiljaditih delova sekunde deluju na cev razornim pritiskom, temperaturom, brzinom i hemijskim sastavom. Dejstvo barutnih gasova utiče na propadanje cevi znatno više od trenja u TMS cev – zrna. Pritisak gasova uslovljava i veliku silu koja deluje na žlebove što rezultira njihovim zamornim habanjem. Sposobnost cevi se umanjuje sa brojem ispaljenih metaka. U trenutku opaljenja, pritisak u cevi dostiže vrednost do 400 Mpa, što je granica tečenja materijala. Kretanjem kroz cev, pri izuzetno velikim brzinama i visokim pritiscima, zrna nosi sa sobom čestice sa unutrašnje površine cevi, a takođe i čestice materijala sa površine zrna prelaze na unutrašnju površinu cevi. Unutrašnji prečnik se povećava, a kompresija smanjuje.

Barutni gasovi ulaze u nastale pukotine i habanje se manifestuje stvaranjem brazdi i oštećenja površine, što uslovljava smanjenje efikasnosti oružja. Pošto se proces odigrava u veoma kratkom vremenskom intervalu, možemo ga predstaviti dinamičkim udarima, koji kao pri kovanju materijala, na površini stvaraju sloj različitih mehaničkih osobina u odnosu na osnovni materijal. Formirani površinski sloj se odlikuje povećanom tvrdoćom, a samim tim i većom krtošću i manjom elastičnošću. Pod dejstvom narednih udara prolaskom sledećih zrna u površinskom sloju se javljaju pukotine i dolazi do pojave ljušpanja površine. Brzina barutnih gasova, koja zavisi od pritiska utiče kako neposrednim udarom gasova o površinu, tako i trenjem gasova. Rad trenja je veliki, mali deo se troši na zagrevanje a veći deo na habanje zagrejane površine. Habanje je izraženije ako je temperatura cevi viša a unutrašnja trasa hrapavija. Velika brzina gasova u cevi izaziva i druge pojave, koje se objašnjavaju stvaranjem udarnih talasa u cevi (slika 3).



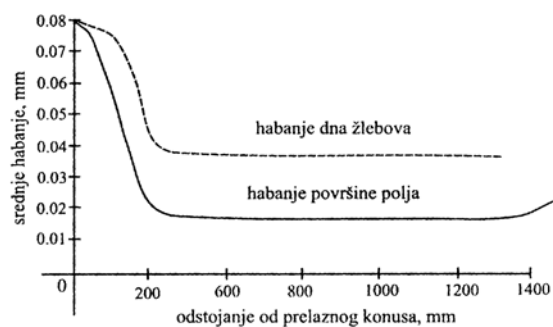
Slika 3. Kretanje mlaza barutnih gasova

Strujanjem gasova može da se objasni i pojava prstena u cevi. Povremenim širenjem i sužavanjem mlaza uslovljene su i njegova minimalna i maksimalna brzina. Kako su talasna kretanja kod svih metaka sa istom veličinom punjenja ista, sledi da talasi na mestima gde im je brzina najmanja, skupljaju čestice metala, koje su povukli sa mesta gde im je brzina najveća. Na taj način se na unutrašnjoj trasi javljaju udubljene i ispučene prstenaste površine, često vidljive i golim okom. Zbog svih navedenih uzroka sposobnost cevi opada sa brojem ispaljenih metaka. Prvo dolazi do pojave "lizanja" cevi, zatim sledi nastanak sitnih pukotina i na kraju erozija (slika 4).



Slika 4. Opadanje bojne sposobnosti cevi

Habanje elemenata vodišta zavisi od međusobnih sila pritiska i veličine tarne površine. Kako su tarne površine relativno male, habaju se radni delovi oluka cevi i stvaraju se zazori na strani neradnih blokova. Kroz te zazore brizgaju usijani mlazovi barutnih gasova, usled čega dolazi ne samo do pada početne brzine projektila već i do mnogo bržeg izgaranja i propadanja površine vodišta projektila u cevi. Odnos habanja dna žlebova i površine polja prikazan je na slici 5.



Slika 5. Odnos habanja dna žlebova i površine polja

Kroz istrošenu cev zrno lakše prolazi, jer je kalibar cevi povećan, a prečnik vodećih delova zrna je uvek isti (kod streljačkog oružja vodeći deo je košuljica). Usled lakšeg kretanja zrna kroz cev otpor je manji a time i pritisak odnosno početna brzina. Gubitak početne brzine usled habanja cevi može dostići do 5% njene vrednosti, i ta vrednost je opšte prihvaćen kriterijum istrošenosti cevi. Odgovarajućim konstrukcijskim i tehnološkim rešenjima cevi, obezbeđuje se sporije habanje, odnosno erozija, što održavanje čini lakšim i efikasnim. Jedan od načina povećanja otpornosti unutrašnjih površina cevi na mehanička, termička i hemijska dejstva je zaštitna prevlaka od elektrolitičkog hroma [3]. Na slici 3 dat je izgled jedne istrošene hromirane unutrašnje trase cevi.



Slika 3. Izgled istrošene hromirane unutrašnje trase cevi

Mnogobrojnim praktičnim ispitivanjima, moguće je dati aproksimativnu sliku balističkog života cevi i on se može izračunati po formuli:

$$U = \frac{K \cdot 10^{12}}{V_H^5 d^{1,37} (T-1500)^{1,66}}$$

gde su

- U- balistički život cevi,
- K- koeficijent (2,1 za košuljicu: 2,7 za blok cevi),
- $V_H$  – početna brzina ,
- d – kalibar,
- T – temperatura sagorevanja baruta.

Najnoviji postupci zaštite unutrašnje trase cevi oružja podrazumevaju specifična sredstva koja sa površinom metala formiraju metalokeramičke prevlake debljine do 10 $\mu$ m, povećane

mikrotvrdoće, otpornosti na koroziju i smanjenje površinske hrapavosti.

#### 4. ZAKLJUČAK

U cevi streljačkog oružja se prilikom opaljenja odvija snažan i složen tribološki proces. On svojim mehaničkim, toplotnim i hemijskim delovanjem izaziva višestruke mehanizme trošenja cevi: abraziju, adheziju, zamor materijala i tribokoroziju. Istrošenost cevi utiče na promenu balističkih karakteristika oružja, u prvom redu dovodi do pada početne brzine projektila. Zbog toga treba primenjivati odgovarajuće tribološke mere za produženje života cevi streljačkog oružja. To su prvenstveno izbor odgovarajućeg materijala triboelemenata i zaštita površine od trošenja i korozije.

#### LITERATURA

- [1] **Mitrović N.:** Istraživanje postupaka za produženje balističkog života cevi oružja i oruđa, Int. dok.04-Pr-3, VTI, Beograd, 1987.
- [2] **Cormick, M. M., Dobson, S. J.:** Characteristics and properties of electrodeposited chromium from aqueous solutions, Journal of Applied Electrochemistrz, vol.17, 1987.
- [3] **Petrović B., Stojanović M.:** Ispitivanje uticaja hromiranja na otpornost prema erozionom delovanju barutnih gasova, Naučnotehnički pregled, vol.L, br. 6, 2000.
- [4] **Jovanović D., Nedić B.:** Regeneracija površina unutrašnje trase cevi streljačkog oružja, XXXI SPMSCG-2006, Kragujevac, 2006.