

## 7. VODEĆI PRSTEN

### 7.1. Uloga vodećeg prstena

Svi projektili koji se ispaljuju iz klasičnih artiljerijskih sistema sa ožlebljenim cevima imaju vodeći prsten. On predstavlja jedan od elemenata za vođenje projektila i izveden je u obliku prstena koji je upresovan u kanal na košuljici nešto ispred dna projektila. Kao takav vodeći prsten ima ulogu da:

- prenese na projektil obrtno kretanje oko njegove uzdužne ose simetrije, čime se ostvaruje jedan od elemenata za stabilizaciju projektila - brza rotacija,
- vrši što potpunije zaptivanje cevi u toku kretanja projektila i onemogućuje prodiranje barutnih gasova u prostor cevi ispred projektila,
- obezbedi koaksijalnost uzdužne ose simetrije projektila sa uzdužnom osom simetrije cevi oruđa u toku kretanja projektila,
- obezbedi identičan polazni položaj od projektila do projektila u slučajevima kada projektil nije čvrsto vezan za čauru (polusjedinjeni i dvodelni metak),
- osigura pri polazu projektila početni pritisak barutnih gasova (pritisak forsiranja - forsman) koji će omogućiti pravilno sagorevanje barutnog punjenja.

Iz navedene višestruke uloge vodećeg prstena jasno se vidi delikatnost problema projektovanja vodećeg prstena pri konstruisanju i usvajanju novog projektila.

Pri polazu projektila dolazi do tzv. urezivanja vodećeg prstena u žlebove cevi, zbog čega je u toku daljeg kretanja projektila, zahvaljujući čvrstoj vezi vodećeg prstena i košuljice, translatorno kretanje projektila praćeno i obrtnim kretanjem. Nije teško pretpostaviti i bez prethodne kvantitativne analize da postoji izvesna funkcionalna veza između parametara translatornog i parametara obrtnog kretanja projektila, pa je, s obzirom na činjenicu da translatorno kretanje ima karakter ubrzanog kretanja, sasvim izvesno da je u pitanju promenljivo obrtno kretanje projektila. Dakle, u fazi kretanja projektila u cevi oruđa, na projektil preko vodećeg prstena deluje neka sila  $nN$  promenljivog intenziteta koja prouzrokuje obrtno kretanje projektila. Vodeći prsten mora biti tako projektovan da može da izdrži naprezanja izazvana dejstvom sile  $nN$  i sile trenja  $f_nN$ , odnosno:

- da se pod dejstvom sile  $nN$  ne kompromituje čvrsta veza između vodećeg prstena i košuljice projektila,
- da pod dejstvom sile  $N$  ne dođe do smicanja u podnožju zuba vodećeg prstena koji ispunjava žleb cevi,
- da se pod dejstvom sile  $fN$  na bočnu stranu zuba vodećeg prstena zub do te mere ne istroši da dolazi do kompromitovanja funkcije vodećeg prstena.

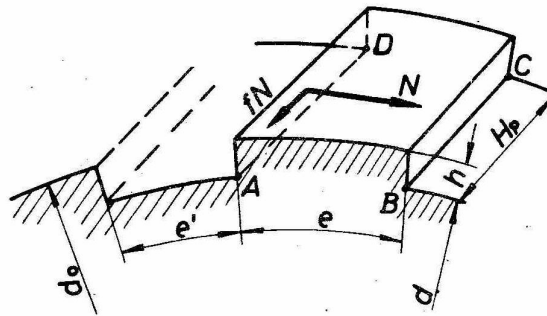
## 7.2. Određivanje normalne sile na aktivnu stranu zuba

Diferencijalna jednačina obrtnog kretanja projektila glasi (slike 7.1 i 7.2):

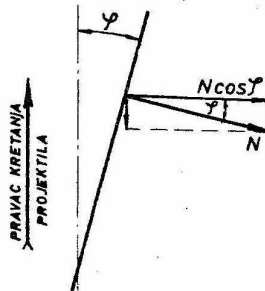
$$I_x \frac{d\omega}{dt} = \frac{d}{2} n N \cos \varphi \quad (7.1)$$

Ovde je:

- $I_x$  - moment inercije projektila oko uzdužne ose
- $d\omega/dt$  - ugaono ubrzanje projektila
- $nN$  - ukupna normalna sila na "zubima" vodećeg prstena ( $n$  - broj žlebova cevi,  $N$  - normalna sila na aktivnoj strani zuba)
- $\varphi$  - ugao uvijanja tj. ugao nagiba zuba u odnosu na uzdužnu osu projektila



Slika 7.1. Izgled vodećeg prstena posle urezivanja u žlebove cevi



Slika 7.2. Opterećenje aktivne strane zuba vodećeg prstena

Normalna sila  $N$  koja napada bočnu, aktivnu stranu zuba vodećeg prstena dobija se rešenjem jednačine (7.1) po  $N$ :

$$N = \frac{2 I_x}{d n \cos \varphi} \frac{d\omega}{dt} \quad (7.2)$$

Uvođenjem pređenog puta projektila u cev umesto vremena kao nezavisno promenljive, izraz za silu  $N$  može se napisati i u drugom obliku:

$$N = \frac{2 I_x V}{d n \cos \varphi} \frac{d\omega}{dx} \quad (7.3)$$

jer je:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{d\omega}{dx} \frac{dx}{dt} = V \frac{d\omega}{dx} \quad (7.4)$$

Kako se obrtna brzina projektila može predstaviti izrazom:

$$\omega = \frac{2V \operatorname{tg} \varphi}{d} \quad (7.5)$$

odnosno:

$$\frac{d\omega}{dx} = \frac{2}{d} \frac{d(V \operatorname{tg} \varphi)}{dx} = \frac{2}{d} \left[ \frac{1}{V} \frac{dV}{dt} \operatorname{tg} \varphi + V \frac{d(\operatorname{tg} \varphi)}{dx} \right] \quad (7.6)$$

izraz za silu N može se napisati u konačnom obliku:

$$N = \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{1}{\cos \varphi} \left[ \frac{dV}{dt} \operatorname{tg} \varphi + V^2 \frac{d(\operatorname{tg} \varphi)}{dx} \right] \quad (7.7)$$

Sila N je funkcija nekoliko promenljivih veličina, pa su sa stanovišta izdržljivosti vodećeg prstena od interesa uslovi pod kojima sila N dostiže maksimalnu vrednost. Odmah je jasno da se moraju razmatrati dva slučaja: konstantan ugao uvijanja žlebova i promenljiv ugao uvijanja žlebova.

### 7.2.1 Konstantan ugao uvijanja žlebova

Za  $\varphi = \text{const}$  izraz za silu N svodi se na:

$$N = \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \varphi} \frac{dV}{dt} \quad (7.8)$$

Najveću vrednost sila N u ovom slučaju dostiže u momentu kada translatorno ubrzanje projektila ima najveću vrednost, odnosno u momentu kada pritisak barutnih gasova u cevi oruđa dostigne svoj maksimum, jer je  $dV/dt = f(p)$ . Prema tome, ako se  $dV/dt$  izrazi preko  $p_m$  dobija se:

$$N_m = \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \varphi} \frac{p_m}{m_p} \left[ \frac{d^2 \pi}{4} + \frac{en}{2} (d_0 - d) \right] \quad (7.9)$$

ili, ako pojednostavimo izraz za površinu poprečnog preseka cevi,

$$N_m = \frac{I_x}{n} \frac{\pi}{m_p} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \varphi} p_m \quad (7.10)$$

### 7.2.2 Promenljiv ugao uvijanja žlebova

Kada je u pitanju promenljiv ugao uvijanja uvek se radi o tzv. progresivnom uglu uvijanja žlebova: ugao nagiba žlebova progresivno raste od minimalne vrednosti na početku žlebljenog

dela cevi ( $\varphi_0$ ) do maksimalne vrednosti na ustima cevi ( $\varphi_u$ ). Najčešće je promena ugla uvijanja data zavisnošću  $\varphi = \varphi_0 + kx$ , a nekad i znatno komplikovanijom funkcijom ( $k$  je konstanta koja se za konkretnu cev, kada je poznata dužina žlebljenog dela, lako određuje). U ovim uslovima je normalna sila  $N$ , prema izrazu (7.7), funkcija od  $p$ ,  $V$  i  $\varphi$ , pa je i postupak određivanja njene najveće vrednosti komplikovaniji nego u slučaju kada je  $\varphi$  konstantno.

Da bi se došlo do najveće vrednosti sile  $N$  mora se za konkretno oruđe raspolagati krivama  $p=p(x)$ ,  $V=V(x)$  i  $\varphi=\varphi(x)$  na osnovu kojih se, uz pomoć izraza (7.7), dolazi do krive  $N=N(x)$ . Iz te krive nije teško utvrditi njenu najveću vrednost i položaj projektila u cevi koji odgovara najvećoj vrednosti sile  $N$ . Maksimalnu vrednost sila  $N$  dostiže negde na intervalu između položaja  $p_m$  i usta cevi, što u svakom konkretnom slučaju treba odrediti.

### **7.3. Trošenje vodećeg prstena**

Pod dejstvom normalne sile  $N$ , odnosno sile trenja  $fN$  i usled translatornog kretanja projektila, dolazi do trošenja aktivne bočne strane vodećeg prstena. Ovo trošenje ima za posledicu smanjivanje širine zuba vodećeg prstena (slika 7.3), a time i njegove izdržljivosti, što nameće potrebu razmatranja ovog procesa.



Slika 7.3. Trošenje zuba vodećeg prstena

#### **7.3.1. Konstantan ugao uvijanja žlebova**

Da bi se izračunalo trošenje zuba vodećeg prstena uobičajeno se usvaja pretpostavka da je elementarna zapremina istrošenog metala na jednom zubu vodećeg prstena proporcionalna odgovarajućem radu sile trenja.

Ako je elementarna zapremina istrošenog metala:

$$dW = hH_p dS_t \quad (7.11)$$

a elementarni rad sile trenja:

$$dA_t = f_d N \frac{dx}{\cos \varphi} \quad (7.12)$$

na osnovu usvojene pretpostavke biće:

$$hH_p dS_t = k f_d N \frac{dx}{\cos \varphi} \quad (7.13)$$

Ovde su:

- h - visina zuba vodećeg prstena (koja je jednaka dubini žleba cevi)
- $H_p$  - širina vodećeg prstena, odnosno zuba vodećeg prstena
- $S_t$  - dužina istrošenja zuba vodećeg prstena
- k - koeficijent proporcionalnosti
- $f_d$  - dinamički koeficijent trenja
- x - put težišta projektila

Brzina od koje zavisi dinamički koeficijent trenja u konkretnom slučaju iznosi  $V/\cos\varphi$ , gde je V translatorsna brzina projektila u cevi oruđa, pa je dinamički koeficijent trenja dat sledećom relacijom:

$$f_d = \frac{f}{1 + b \frac{V^2}{\cos^2 \varphi}} \quad (7.14)$$

gde je f - statički koeficijent trenja.

Uvođenjem izraza za  $f_d$  i N (jednačina (7.8) i transformacijom jednačine (7.13) dobija se:

$$h H_p dS_t = \frac{k f}{1 + b \frac{V^2}{\cos^2 \varphi}} \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \varphi} \frac{dV}{dt} dx \quad (7.15)$$

$$h H_p dS_t = k' \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos^2 \varphi} \frac{V}{1 + b \frac{V^2}{\cos^2 \varphi}} dV \quad (7.16)$$

Ovde je  $k' = k \cdot f$ . Dalje je:

$$dS_t = \frac{k'}{h H_p} \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos^2 \varphi} \frac{V}{1 + b \frac{V^2}{\cos^2 \varphi}} dV \quad (7.17)$$

Integracijom jednačine (7.17) u granicama  $t=0$  do t, odnosno od  $V=0$  do V dobija se izraz za  $S_t$ :

$$S_t = \frac{k'}{h H_p} \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{2b} \ln \left( 1 + \frac{b}{\cos^2 \varphi} V^2 \right) \quad (7.18)$$

Vrednost koeficijenta  $k'$  zavisi od prirode materijala od koga je izrađen vodeći prsten i određuje se eksperimentalnim putem. Za vodeći prsten od bakra kakav se najčešće upotrebljava za artiljerijske projekte, koeficijent  $k'$  iznosi  $23.3 \cdot 10^{-6}$ , a konstanta  $b=9 \cdot 10^{-6}$ , pri čemu se veličine od kojih zavisi  $S_t$  moraju uzeti u sledećim jedinicama: h (mm),  $H_p$  (mm),  $I_x$  (kgcm<sup>2</sup>), d (mm), V (m/s), pri čemu istrošenje  $S_t$  dobijamo u milimetrima.

Iz izraza (7.18) vidi se da istrošenje  $S_t$  ima najveću vrednost u trenutku kada se projektil nalazi na ustima cevi:

$$S_{t,\max} = \frac{2.303 k'}{h H_p} \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{2b} \log \left( 1 + \frac{b}{\cos^2 \varphi} V_0^2 \right) \quad (7.19)$$

### 7.3.2 Promenljiv ugao uvijanja žlebova

I u ovom slučaju osnova proračuna je ista kao u prethodnom slučaju (elementarna istrošena zapremina vodećeg prstena proporcionalna je elementarnom radu sile trenja). Nakon dužeg izvođenja dobijamo izraz za veličinu maksimalnog istrošenja vodećeg prstena:

$$S_{t,\max} = \frac{2.303 k^{\circ}}{h H_p} \frac{I_x}{n} \frac{4}{d^2} \left\{ \frac{(\operatorname{tg} \varphi)_{sr}}{2b} \log \left( 1 + \frac{b V_0^2}{\cos^2 \varphi_u} \right) + \frac{\operatorname{tg} \varphi_u}{b^2 V_0^2} \left[ b V_0^2 - \log \left( 1 + \frac{b V_0^2}{\cos^2 \varphi_u} \right) \right] \right\} \quad (7.20)$$

$$\text{Ovde je} \quad (\operatorname{tg} \varphi)_{sr} = \frac{\operatorname{tg} \varphi_0 + \operatorname{tg} \varphi_u}{2}.$$

Analizom izraza za najveće trošenje pri konstantnom i promenljivom uglu uvijanja žlebova dolazi se do zaključka da je najveće trošenje utoliko manje, ukoliko je:

- širina vodećeg prstena  $H_p$  veća
- visina zuba vodećeg prstena  $h$  veća
- broj žlebova  $n$  veći
- aksijalni moment projektila  $I_x$  manji (manja masa projektila)
- ugao uvijanja žlebova  $\varphi$  manji i početna brzina projektila  $V_0$  manja za slučaj

konstantnog ugla uvijanja; u slučaju promenljivog ugla uvijanja uticaj ugla  $\varphi$  i početne brzine projektila nije tako očigledan i zavisi od konkretnih vrednosti ostalih parametara.

## 7.4. Naprezanja vodećeg prstena

Stav o izdržljivosti vodećeg prstena donosi se na osnovu vrednosti naprezanja koja su posledica dejstva normalne sile. Naprezanja imaju karakter pritiska i smicanja, ali se za osnovu kriterijuma sigurnosti (izdržljivosti) vodećeg prstena ne uzima rezultujuće složeno naprezanje. Kriterijum sigurnosti dat je za svaku vrstu naprezanja posebno, pri čemu svi uslovi moraju biti istovremeno ispunjeni.

### 7.4.1. Naprezanje na pritisak

Pretpostavljajući da normalna sila  $N$  ravnomerno opterećuje celu bočnu aktivnu stranu zuba vodećeg prstena, naprezanje na pritisak je dato izrazom:

$$\sigma_p = \frac{N}{h H_p} \quad (7.21)$$

Do razaranja metala na aktivnoj strani zuba vodećeg prstena neće doći ako je ispunjen sledeći uslov:

$$\frac{N_m}{hH_p} \leq \sigma_{pd} \quad (7.22)$$

gde je  $\sigma_{pd}$  - dozvoljeno naprezanje na pritisak za metal vodećeg prstena.

Pri izboru dozvoljenog napona pri naprezanju vodećeg prstena na pritisak treba imati u vidu i uslove dopunskog termičkog naprezanja vodećeg prstena pod dejstvom barutnih gasova i usled trenja. Eksperimentalno je utvrđeno da za vodeći prsten od bakra vrednost dozvoljenog napona pri naprezanju na pritisak ne sme prelaziti vrednost od 25 daN/mm<sup>2</sup> za oruđa sa velikom početnom brzinom, odnosno 35 daN/mm<sup>2</sup> za oruđa sa malom početnom brzinom projektila.

#### 7.4.2. Naprezanje na smicanje

U osnovi zuba vodećeg prstena (površina ABCD na slici 7.1) postoji naprezanje na smicanje kao posledica dejstva normalne sile N. Kako se površina ABCD menja zbog pojave trošenja vodećeg prstena, to je naprezanje na smicanje dato izrazom:

$$\tau = \frac{N}{(e - S_t)H_p} \quad (7.23)$$

Sa stanovišta izdržljivosti interesantna je najveća vrednost naprezanja na smicanje. Međutim, kako pokazuje izraz (7.23), naprezanje na smicanje istovremeno zavisi i od normalne sile i od vrednosti trošenja vodećeg prstena. Kod konstantnog ugla uvijanja žlebova, sila N ima najveću vrednost u trenutku kada pritisak barutnih gasova dostigne svoj maksimum, a najveće trošenje je prirodno, u trenutku kada projektil napušta cev. Prema tome, kod konstantnog ugla uvijanja žlebova najveću vrednost naprezanja na smicanje treba očekivati za vrednost  $N_m$ , jer je vrednost sile N na ustima cevi nekoliko puta manja od vrednosti  $N_m$ . Kako je za položaj projektila u kome normalna sila ima najveću vrednost trošenje vodećeg prstena tek otpočelo, to se najveće naprezanje na smicanje izračunava sledećim izrazom:

$$\tau_{\max} = \frac{N_m}{eH_p} \quad (7.24)$$

Kod promenljivog ugla uvijanja žlebova maksimalno naprezanje na smicanje takođe se očekuje oko vrednosti maksimalne sile, između položaja maksimalnog pritiska i usta cevi, samo u širem intervalu s obzirom da se radi o većem istrošenju vodećeg prstena.

U oba slučaja mora biti ispunjen uslov:

$$\tau_{\max} \leq \tau_d \quad (7.25)$$

Kod vodećih prstenova izrađenih od bakra  $\tau_d$  se kreće od 1 do 3 daN/mm<sup>2</sup> (eksperimenti pokazuju da se proračun može vršiti i sa duplo većim vrednostima dozvoljenog naprezanja na smicanje  $\tau_d$ ).

Konačan izbor širine vodećeg prstena  $H_p$  (sledi iz jednačina (7.22) i (7.24) ) vrši se na osnovu onog naprezanja koje je kritično sa aspekta njegove otpornosti.

Pri razmatranju naprezanja i izdržljivosti vodećeg prstena mora se uzeti u obzir trošenje i bakarisanje cevi. Trošenje cevi je najintenzivnije od početka žlebljenog dela cevi do položaja maksimalnog pritiska, zatim nastupa izvesna dužina trase cevi koja se vrlo malo troši, a posle toga trošenje se povećava prema ustima cevi. Između dve oblasti žlebljenog dela cevi koje karakteriše značajno trošenje nalazi se oblast minimalnog trošenja koju karakterišu naslage materijala vodećeg prstena, tzv. Bakarisanje cevi. Bakarisanje je naročito intenzivno u osnovi žlebova. Trošenje i bakarisanje cevi menjaju u izvesnom smislu unutrašnju trasu cevi, odnosno menjaju visinu kontaktne površine između vodećeg prstena i polja cevi, što dovodi do izvesnog odstupanja naprezanja vodećeg prstena u odnosu na proračunata naprezanja, tj. smanjuje izdržljivost vodećeg prstena. Takođe, treba imati u vidu promenu mehaničkih karakteristika bakra kada je u pitanju bakarni vodeći prsten (ove promene su posledica trajnih deformacija materijala vodećeg prstena pri njegovom nameštaju i urezivanju, kao i uticaja povećanja temperature vodećeg prstena usled uticaja visokih temperatura barutnih gasova i trenja između vodećeg prstena i cevi oruđa).

### **7.5. Materijal za izradu vodećih prstenova**

Materijal za izradu vodećih prstenova rotirajućih artiljerijskih projektila treba da bude mekan i istovremeno da poseduje dovoljnu žilavost, da podnosi deformacije i da u što manjoj meri troši (haba) cev oruđa. Do sada su za izradu vodećih prstenova našli primenu sledeći materijali:

- elektrolitički bakar
- elektrolitički bakar sa dodatkom nikla
- elektrolitički bakar sa dodatkom cinka
- elektrolitički bakar i niskouglenični čelik (meko gvožđe)
- niskouglenični sinterovani čelik
- čisto meko gvožđe
- plastične mase

Elektrolitički bakar. Od svih navedenih materijala elektrolitički bakar najbolje odgovara zahtevima koji se postavljaju pred vodeći prsten, jer su kod bakra sve potrebne osobine najbolje usklađene. Zbog toga se bakar najviše i primenjuje za izradu vodećih prstenova rotirajućih artiljerijskih projektila svih kalibara u celom dijapazonu primenjivanih početnih brzina. Upotrebljava se najčešće čisti elektrolitički bakar sadržaja 99.8% Cu, koji se prethodno podvrgava postupku redukcije (odstranjivanje vezanog kiseonika). Elektrolitički bakar koji nije na ovaj način obrađen ili kod kojeg je redukcija izvedena nepotpuno ostaje krt i lako se lomi. Štetne primese su i bizmut i antimon. Prisustvo ovih elemenata u iznosu od svega nekoliko stotih delova procenta izaziva krtost i lomljivost. Prisustvo arsena smanjuje štetan uticaj ovih elemenata.

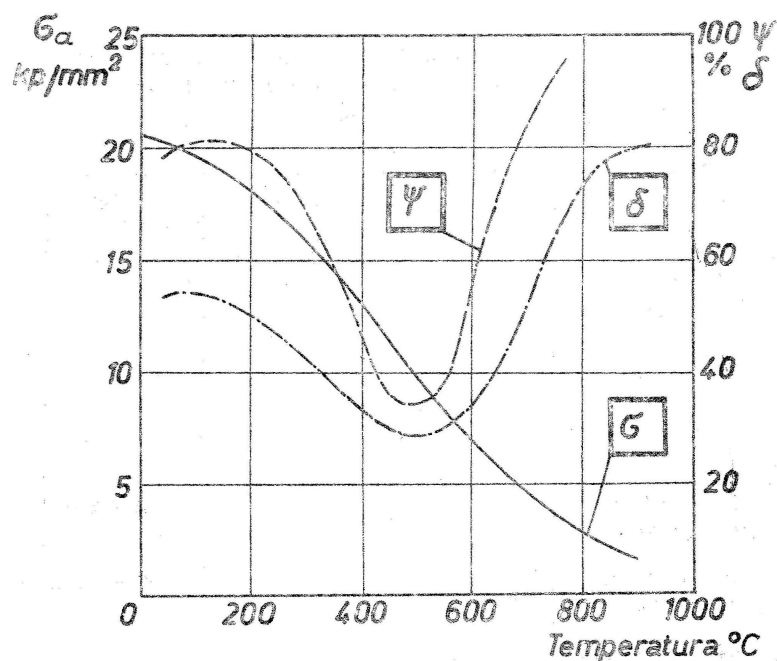


Srednje vrednosti mehaničkih karakteristika elektrolitičkog bakra žarenog na 600 °C navedene su u tabeli 7.1.

Tabela 7.1

Mehaničke karakteristike žarenog elektrolitičkog bakra	Vrednost
Granica razvlačenja	8 ÷ 10 daN/mm <sup>2</sup>
Čvrstoća na istezanje	22 ÷ 24 daN/mm <sup>2</sup>
Čvrstoća na smicanje	18 daN/mm <sup>2</sup>
Istezanje	40 ÷ 60 %
Kontrakcija	60 ÷ 80 %
Modul elastičnosti kod istezanja	12000 ÷ 12800 daN/mm <sup>2</sup>
Modul elastičnosti kod smicanja	4200 ÷ 4900 daN/mm <sup>2</sup>
Tvrdoća po Brinelu	48 ÷ 52
Žilavost	60 ÷ 80 J/cm <sup>2</sup>

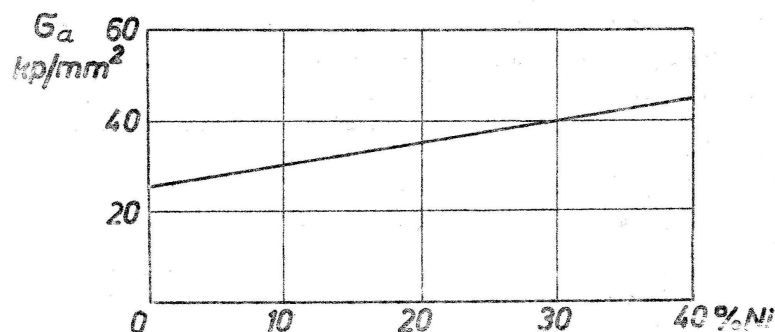
Pri povišenim temperaturama čvrstoća bakra se smanjuje kako je to prikazano na slici 7.4.



Slika 7.4. Zavisnost mehaničkih osobina bakra od temperature

Gustina elektrolitičkog bakra kreće se u granicama od 8.89 do 8.93 g/cm<sup>3</sup>.

Legure bakra sa niklom. Nikl se rastvara u bakru u tečnom i čvrstom stanju u svim odnosima legiranja. Povoljno utiče na mehaničke osobine bakra, povećava mu čvrstoću (slika 7.5) i u izvesnoj meri povećava i žilavost.



Slika 7.5. Čvrstoća bakarne legure (Cu-Ni)

Kod legure bakra sa niklom smanjenje čvrstoće sa porastom temperature je manje nego kod čistog bakra, zbog čega je prisustvo nikla u materijalu za izradu vodećih prstenova artiljerijskih projektila više nego poželjno, naročito kod projektila moćnih oruđa izloženih visokim mehaničkim i toplotnim naprezanjima.

Legure bakra sa cinkom. Nisu dobijeni zadovoljavajući rezultati sa ovim legurama. Dodavanjem oko 10% cinka nastojala se smanjiti potrošnja bakra i istovremeno postići smanjenje bakarisanja cevi.

Bakar i niskougljenični čelik. Ovaj materijal nije našao širu primenu zbog toga što nisu ostvarene očekivane uštede u bakru dok je, s druge strane, tehnologija izrade ovakvih vodećih prstenova bila vrlo složena, jer se zahtevala veoma čvrsta veza između ova dva sloja materijala. Danas se ovaj postupak više nigde ne primenjuje.

Sinterovano gvožđe. Sinterovano gvožđe za izradu vodećih prstenova može da bude adekvatna zamena bakru u ratnim uslovima, kada se municija ne zadržava dugo u skladištima. Tokom vremena sinterovani prstenovi podležu koroziji i postaju krti.

Čisto meko gvožđe. Koristi se i danas za izradu vodećih prstenova projektila moćnih oruđa, izloženih naročito teškim uslovima u toku kretanja kroz cev. Vodeći prstenovi izrađeni od čistog mekog gvožđa imaju zateznu čvrstoću od oko 28 daN/mm², a istezanje oko 40 %.

Plastične mase. Dosadašnja istraživanja su pokazala da u izvesnim slučajevima vodeći prsten od plastične mase pokazuje znatno bolja svojstva od bakarnog vodećeg prstena. Naime, primenom najlona, teflona i drugih plastičnih masa za izradu vodećih prstenova ne uočava se povećano trošenje cevi oruđa i pri brzinama projektila (u prvom redu potkalibarnih) većim od 1400 m/s.

## **7.6. Opterećenje i izdržljivost cevi**

Pri projektovanju vodećeg prstena novog artiljerijskog projektila mora se voditi računa i o opterećenju i izdržljivosti polja cevi koja su u kontaktu sa vodećim prstenom takođe opterećena normalnom silom  $N$ . Kako čelik od koga je cev izrađena normalno izdržava znatno veća naprezanja na pritisak i smicanje od vodećeg prstena, od interesa je opterećenje, odnosno naprezanje polja na savijanje o čemu treba voditi računa pri dimenzionisanju vodećeg prstena. Deo polja u kontaktu sa vodećim prstenom smatraće se uklještenom konzolom, dužine  $h$  i širine

$H_p$  opterećenom silom  $N$ , ravnomerno raspoređenom po celoj površini konzole. Visina konzole, odnosno širina polja dobija se iz odnosa:

$$\pi d = n(e + e') \quad (7.26)$$

Naprezanje na savijanje dato je izrazom:

$$\sigma_s = \frac{M e'}{I} \quad (7.27)$$

Moment savijanja, uz raniju pretpostavku o ravnomernom rasporedu sile  $N$ , biće:

$$M = \frac{N}{h} \int_0^h x dx = \frac{Nh}{2} \quad (7.28)$$

a otporni moment površine u osnovi polja:

$$I = \frac{H_p e'^3}{12} \quad (7.29)$$

Zamenom momenta savijanja i otpornog momenta sa odgovarajućim izrazima u izrazu (7.27) dobija se najveća vrednost naprezanja na savijanje, uvođenjem najveće vrednosti za silu  $N$ :

$$(\sigma_s)_{\max} = \frac{3N_m h}{H_p e'^2} \quad (7.30)$$

Ako se za dozvoljeno naprezanje na savijanje usvoji, imajući u vidu otežane uslove rada metala (visoka temperatura), vrednost od  $6 \text{ daN/mm}^2$  sa dovoljno velikim stepenom sigurnosti, izraz (7.30) se može predstaviti sledećom nejednačinom:

$$\frac{N_m h}{H_p e'^2} \leq 2 \quad (7.31)$$

Ovde je  $N_m$  u  $\text{daN}$ , a  $h$ ,  $H_p$  i  $e'$  u  $\text{mm}$ .

Širina vodećeg prstena je, za jedan definisan artiljerijski sistem, jedina promenljiva veličina u nejednačini (7.31). Izdržljivost polja, prema tome, zavisi samo od širine vodećeg prstena.