

MAŠINSKI FAKULTET

Mašinski elementi-1

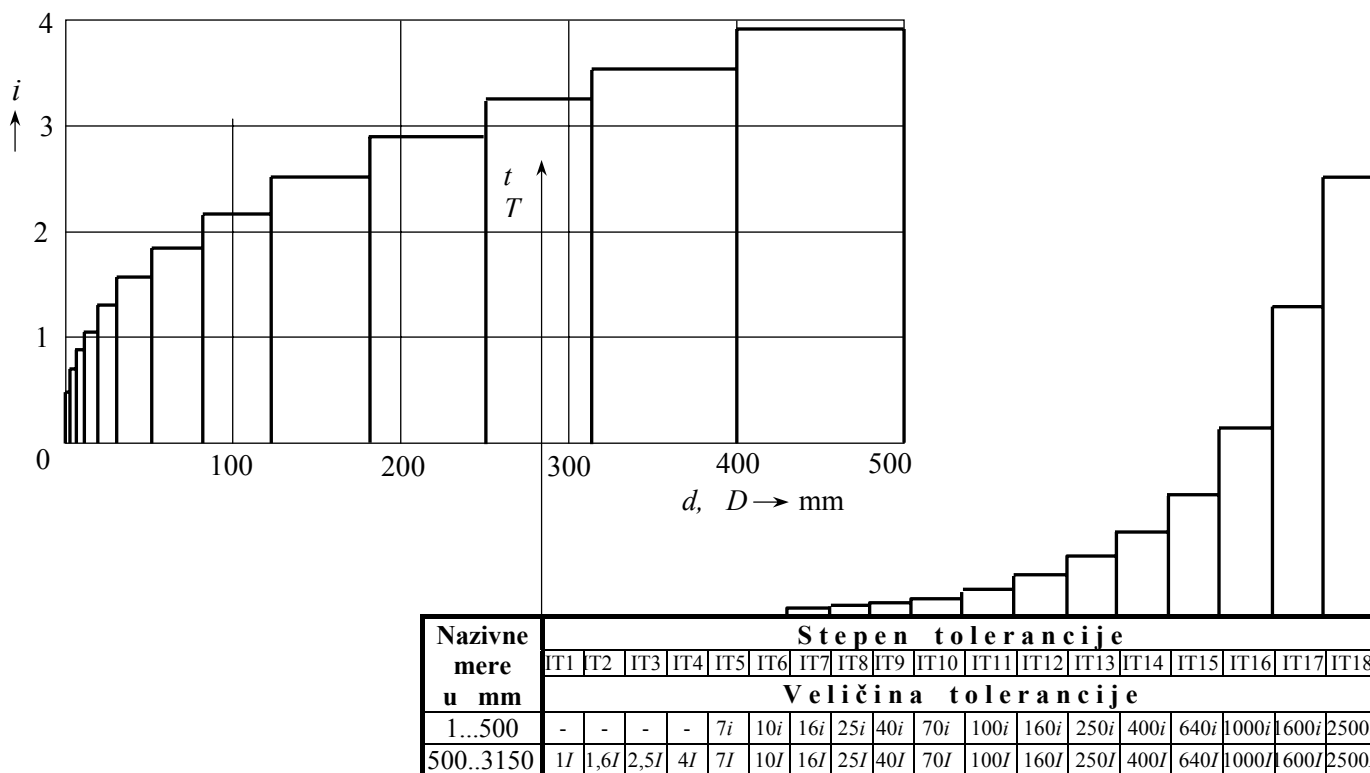
Prof.dr Milosav Ognjanović

I-kolokvijum

1. Parametri tolerancijskog polja.

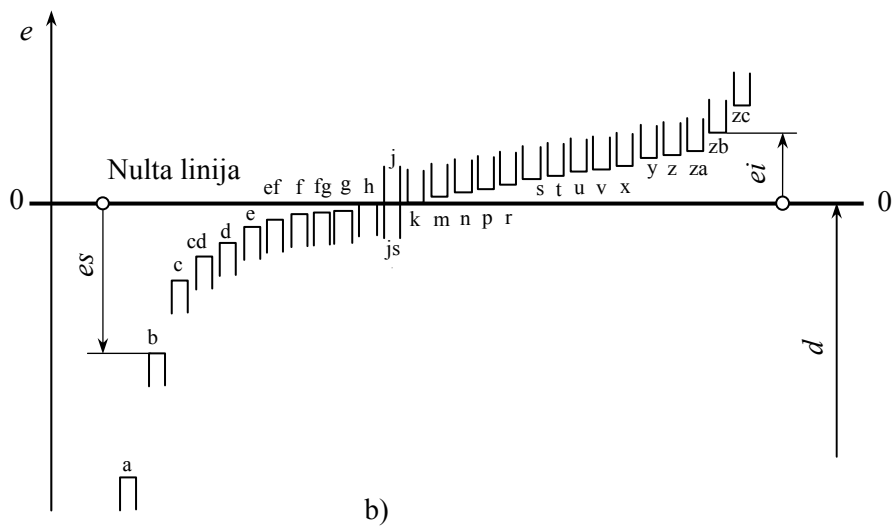
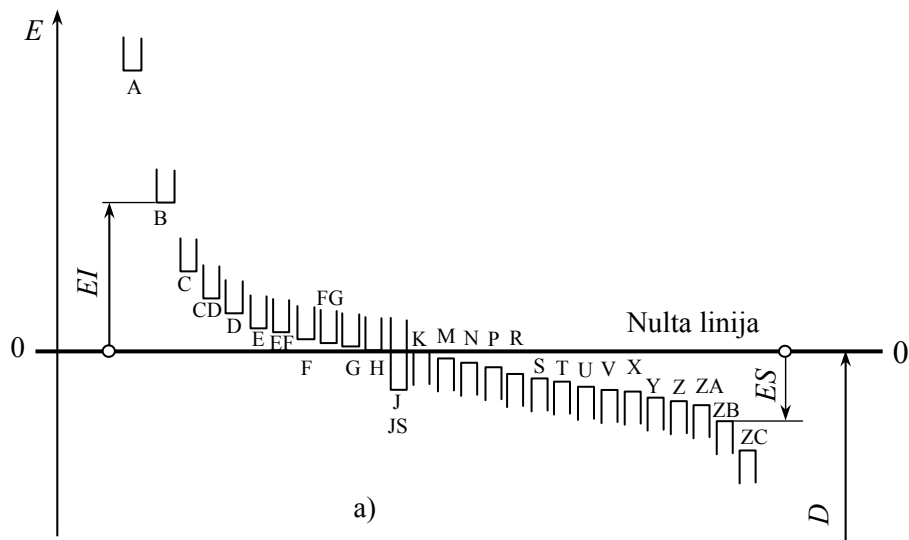
Parametri tolerancijskog polja su *veličina* i *položaj* tolerancijskog polja. Zavise od veličine *nazivne mere* i od *stepena tolerancije*. Oznaka: za otvor, na primer $\phi 100H8$ odnosno za spoljašnju meru $\phi 180f9$.

a) Područje nazivnih mera: Nazivne mere 1...500 mm podeljene su u *trinaest* područja tako da su ona u oblasti manjih vrednosti uža, a u području većih vrednosti dužinskih mera šira.



b) Stepen tolerancije se označava sa IT (Internacionalna Tolerancija), a predviđeno je dvadeset stepena tolerancije IT01, IT0, IT1, IT2, IT3, ... IT18.

c) **Položaj tolerancijskog polja** označava se slovima a, b, c, d,... za spoljnu meru odnosno A, B, C, D,... za unutrašnju meru. Mogu biti iznad ili ispod nulte linije, karakteristično je tolerancijsko polje h odnosno H koje leži na nultoj liniji. Udaljenost tolerancijskog polja od nulte linije definisana je jednim od graničnih odstupanja es ili ei odnosno ES ili EI .



Položaj tolerancijskih polja a) za unutrašnju meru, b) za spoljašnju meru

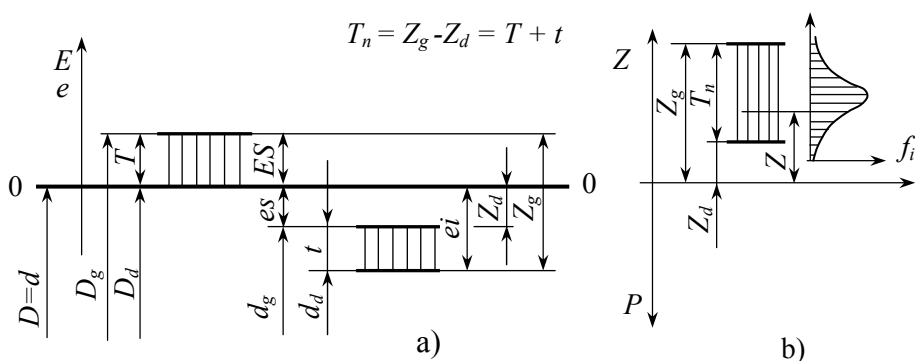
2. Labavo, čvrsto i neizvesno naleganje.

Naleganje je odnos delova istih nazivnih mera od kojih je jedna spoljna, a druga unutrašnja. U zavisnosti od veličine ostvarenih mera naleganja mogu biti *labava, čvrsta i neizvesna*.

Labavo naleganje se ostvaruje izmedju delova kod kojih je stvarna mera otvora veća od stvarne mere čepa ($D_s > d_s$). Razlika izmedju prečnika otvora i prečnika čepa je pozitivna tj. između sklopljenih delova je međuprostor - zazor.

$$Z_s = D_s - d_s = E - e > 0; \quad Z_g = D_g - d_d = ES - ei; \quad Z_d = D_d - d_g = EI - es$$

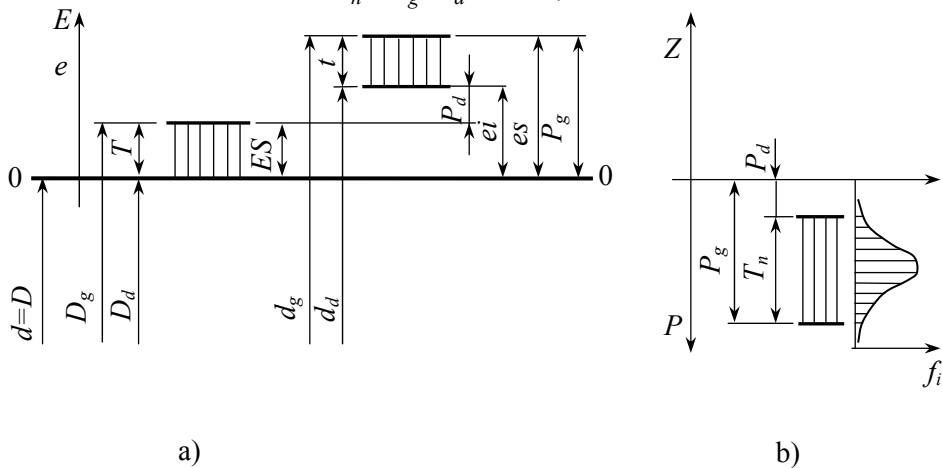
$$T_n = Z_g - Z_d = T + t$$



Čvrsto naleganje se ostvaruje nasilnim utiskivanjem čepa u otvor. Stvarni prečnik otvora je manji od stvarnog prečnika čepa ($D_s < d_s$), a razlika predstavlja preklop

$$P_s = D_s - d_s = E - e < 0; \quad P_g = D_d - d_g = EI - es; \quad P_d = D_g - d_d = ES - ei$$

$$T_n = P_g - P_d = T + t$$



Neizvesno naleganje je sa *moгуćim malim zazorom ili sa malim preklopom*. Ovo naleganje je neizvesno (neopredeljeno) izmedju čvrstog i labavog pre izrade delova odnosno pre dobijanja stvarnih mera otvora i čepa. Sklapanjem delova sa otvorom i čepova, u zavisnosti od odnosa slučajno izabranih mera D_s i d_s , neizvesno naleganje može postati labavo ($D_s > d_s$) sa malim zazorom ili čvrsto ($D_s < d_s$) sa malim preklopom. Najveći mogući zazor odgovara spoju najvećeg otvora i najmanjeg čepa

$$Z_g = D_g - d_d = ES - ei > 0$$

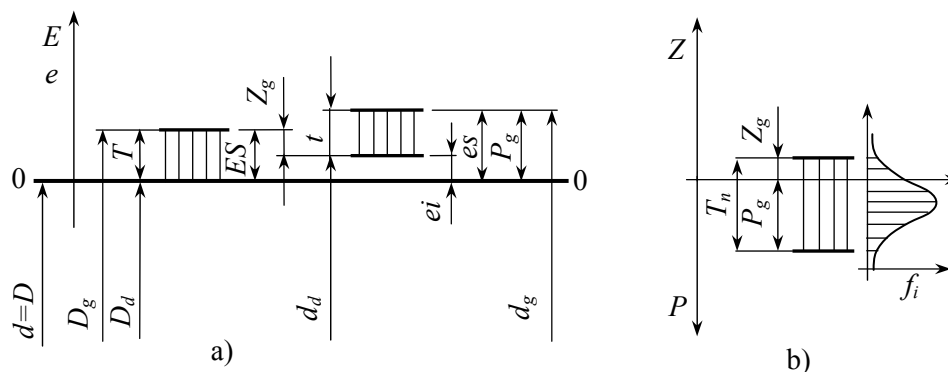
Najveći preklop nastaje sklapanjem najmanjeg otvora sa najvećim čepom

$$P_g = D_d - d_g = EI - es < 0$$

Dijagram zazora i preklopa (slika 2.11) obuhvata nultu osu (apscisu), a tolerancija naleganja je

$$T_n = Z_g - P_g = T + t$$

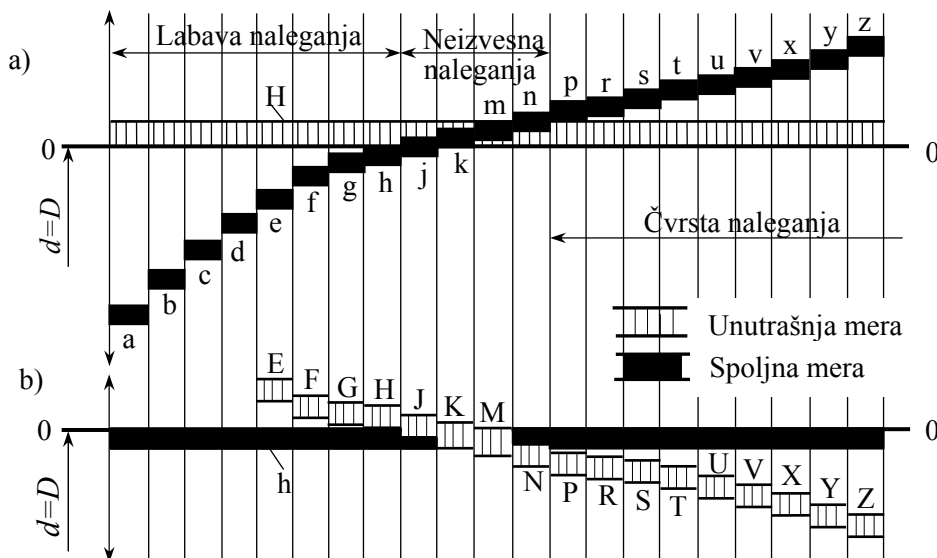
predstavlja područje dozvoljene varijacije zazora odnosno preklopa. Stvarni zazor $Z_s = D_s - d_s$ može biti u granicama $0 < Z_s < Z_g$, a stvarni preklop po apsolutnoj vrednosti u granicama $0 < P_s < P_g$. Najveća učestanost f_i odnosno najveća gustina verovatnoće odgovara srednjim vrednostima između Z_g i P_g . Ako su po apsolutnoj veličini Z_g i P_g približno isti, najčešći zazori ili preklopi su bliski nuli.



Kod labavog naleganja tolerancijsko polje za čep je ispod tolerancijskog polja za otvor, a tolerancija naleganja je iznad apscise. Za čvrsto naleganje tolerancijsko polje za čep je iznad tolerancijskog polja za otvor, a tolerancija naleganja ispod apscise. Kod neizvesnog naleganja tolerancijska polja za otvor i čep se međusobno preklapaju. Polje tolerancije naleganja preseca apscisu.

3. Sistemi, familije i prioriteti naleganja

Sistemi naleganja omogućavaju da se ograniči broj mogućih kombinacija položaja tolerancijskih polja otvora i čepova. U sistemu zajedničke tolerancije unutrašnje mere (SZUM) prečnici otvora su sa tolerancijskim poljem **H**. Varijacijom položaja tolerancijskih polja čepova od **a** do **z**, dobijaju se labava, čvrsta i neizvesna naleganja. U sistemu zajedničke tolerancije spoljne mere (SZSM) svi prečnici čepova su sa tolerancijskim poljem **h**. Labava, čvrsta i neizvesna naleganja se dobiju izborom tolerancijskog polja otvora od **A** do **Z**. U primeni je više zastupljen SZUM. Za završnu obradu otvora potrebni su specijalni alati te da bi se smanjio njihov asortiman, racionalno je da se koristi samo tolerancijsko polje **H**. Sistem zajedničke tolerancije spoljne mere primenjuje se izuzetno i to pri korišćenju familije standardnih delova sa spoljnom merom. Te mere su u polju **h** i mogu se sklopiti sa otvorom čije se tolerancijsko polje bira prema potrebnom naleganju.

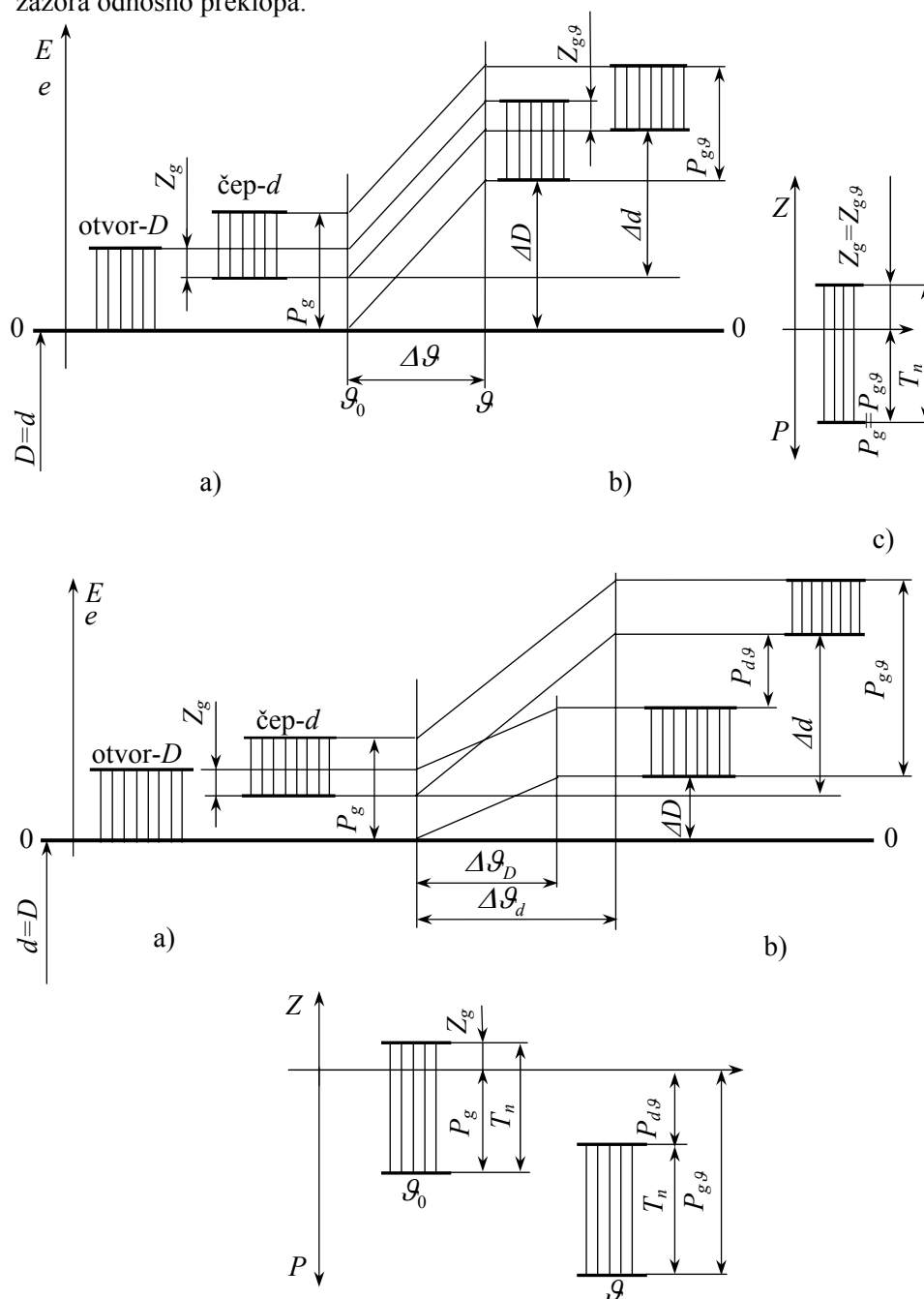


*Sistemi naleganja: a) sistem zajedničke unutrašnje mere (SZUM),
b) sistem zajedničke spoljne mere (SZSM)*

Familije naleganja obezbeđuju dalje sužavanje izbora iz područja mogućih naleganja. U okviru SZUM familiju čine H6, H7, H8, H9, H11, H12 i H13, a u SZSM to je h5, h6, h8, h9, h11, h12 i h13. Broj naleganja se dalje sužava uvođenjem prioriteta naleganja. Naleganja **I stepena prioriteta** su malobrojna, slede naleganja **II stepena prioriteta** i na kraju **III stepena prioriteta**.

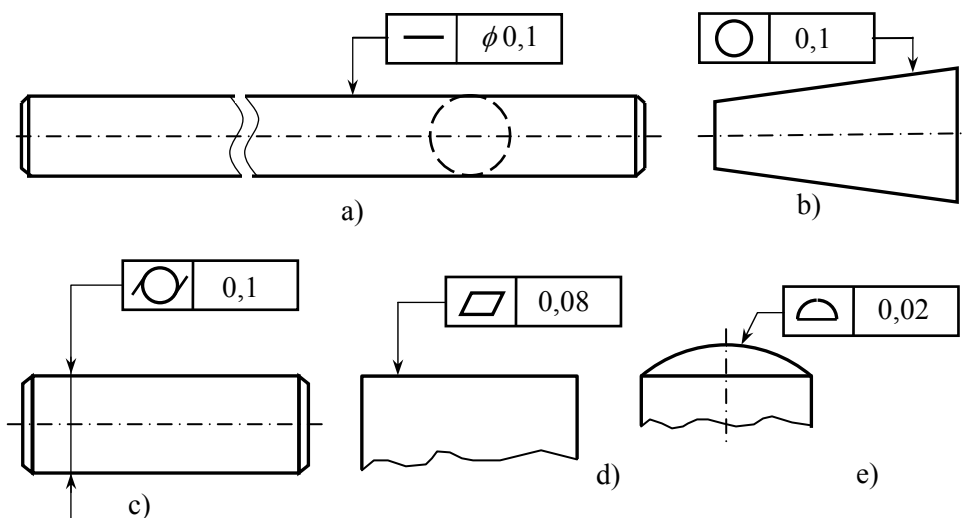
4. Uticaj toplote na promenu naleganja

Usled promene temperature menjaju se dimenzije mašinskog dela, tj. menjaju se stvarne mere otvora i čepa. Promena je srazmerna koeficijentu toplotnog širenja, promeni temperature Δv i veličini prečnika d odnosno D tj. $\Delta D = \alpha D \Delta v$. Veličine promena prečnika ΔD i Δd mogu biti takve da se u potpunosti promeni odnos tolerancijskih polja odnosno da se promeni vrsta naleganja ili veličina zazora odnosno preklopa.



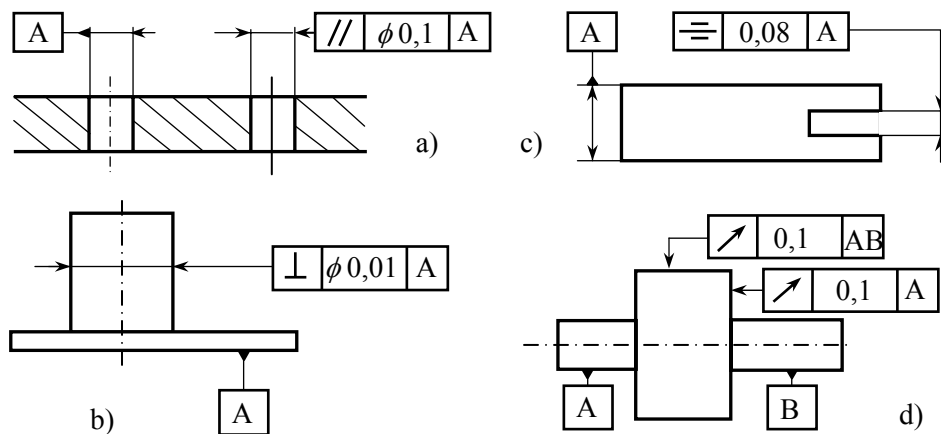
5. Tolerancije oblika i položaja osa i površina mašinskih delova

Tolerancije oblika



Tolerancije oblika: a) pravost, b) kružnost, c) cilindričnost, d) ravnost, e) oblik površine

Tolerancije položaja

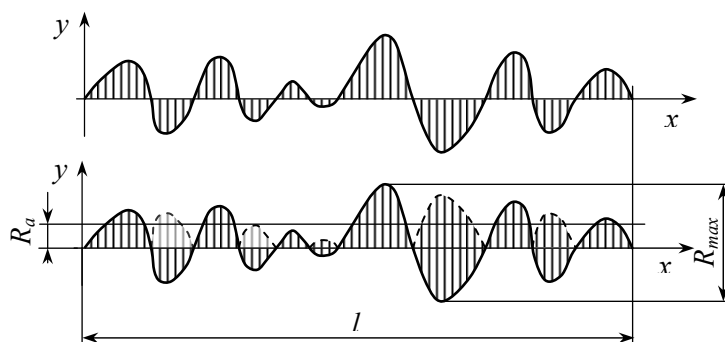


6. Tolerancije hrapavosti površina

Parametri mikroprofila površine su R_{\max} - najveća visina neravnina, R_z - srednja visina neravnina i R_a - srednje aritmetičko odstupanje mikroprofila površine

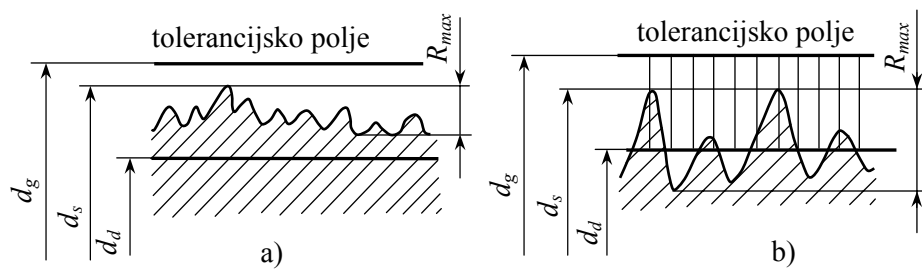
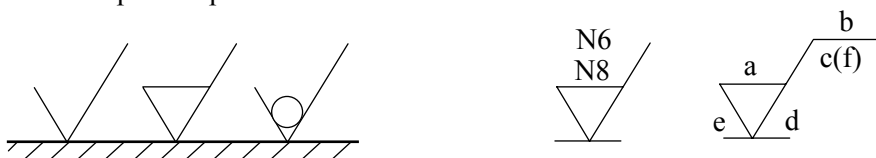
$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

određuje se na referentnoj dužini l .



Mikroprofil hrapavosti površine

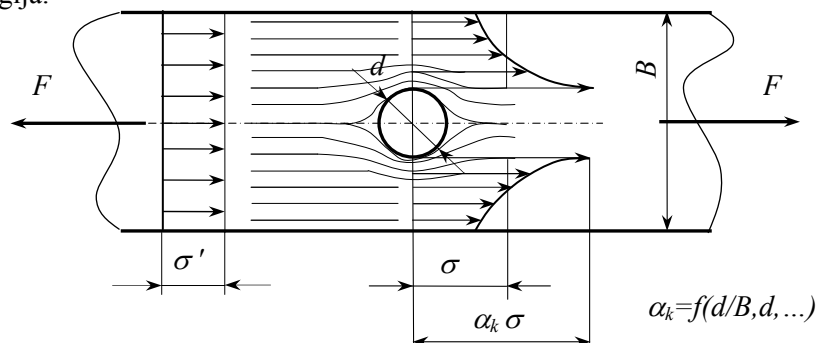
Srednje aritmetičko odstupanje mikroprofila R_a je parametar na osnovu kojeg se propisuje tolerancija hrapavosti površine. Dozvoljena veličina R_a propisuje se klasom hrapavosti površina N1 do N12.



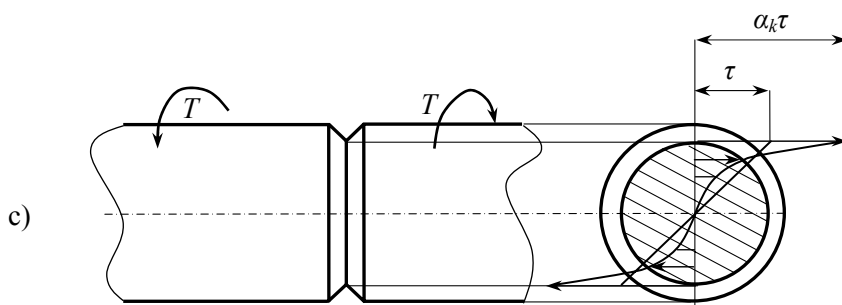
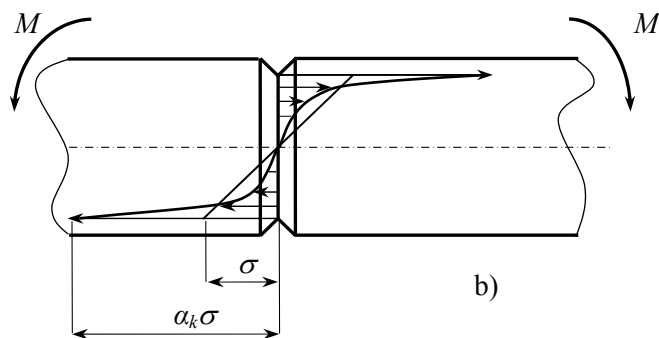
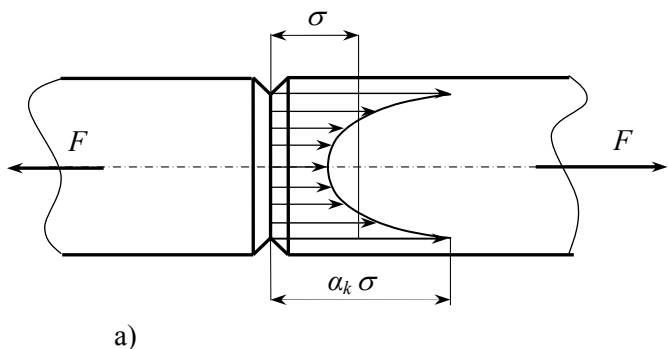
Odnos tolerancijskog polja i neravnina: a) povoljan, b) nepovoljan

7. Koncentracija napona

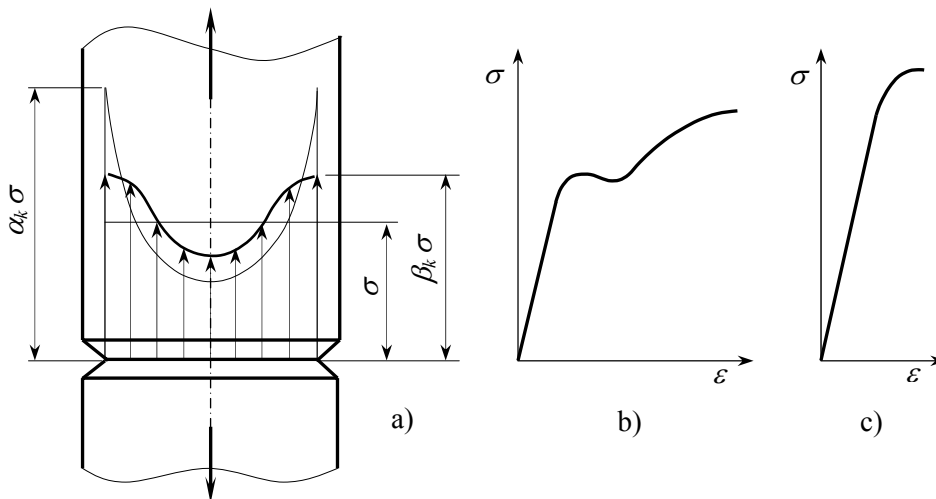
Koncentracija napona je neravnomerne raspodele napona po poprečnom preseku mašinskog dela usled nagle promene preseka. U odnosu na raspodelu nominalnih napona, u jednoj zoni poprečnog preseka napon se povećava, a u preostalom delu preseka se smanjuje. Za ilustraciju pojave koncentracije napona može se iskoristiti analogija sa strujanjem fluida u cevi – hidrodinamička analogija.



a) Geometrijska koncentracija napona za prosta naprezanja prikazana je na slici. Izvori koncentracije napona su žlebovi nagla promena prečnika ili debljine, otvori i dr. Geometrijski faktor koncentracije napona α_k zavisi isključivo od geometrijskih parametara tj. od odnosa dimenzija mašinskog dela. Veći je ako je promena poprečnog preseka veća. Može se smanjiti ako se poveća radijus prelaznog zaobljenja ili radijus u korenu žleba.



b) Efektivna koncentracija napona osim uticaja geometrije mašinskog dela obuhvata i uticaj plastičnih svojstava materijala. Da je materijal neograničeno elastičan ekstremna veličina napona $\alpha_k \sigma$, mogla bi pri porastu sile F da se linearno povećava neograničeno. Realni materijali su međjutim, elastični samo u ograničenom području te se povećavanje napona $\alpha_k \sigma$ može odvijati samo do napona tečenja materijala R_e . Pri dostizanju ove granice, u tačkama poprečnog preseka gde je napon najveći ($\alpha_k \sigma$) nastupaju lokalne plastične deformacije. Napon u tim tačkama prestaje dalje da se povećava. Pri daljem povećanju sile F napon se povećava u onim tačkama preseka gde napon tečenja R_e još nije dostignut. U poredjenju sa geometrijskom koncentracijom napona dolazi do preraspodele, deo sile preuzimaju manje opterećeni delovi poprečnog preseka. Neravnomernost raspodele napona se smanjuje. Najveći napon je sada manji i iznosi $\sigma_{\max} = \beta_k \sigma$, a efektivni faktor koncentracije napona β_k je manji od geometrijskog α_k . Osim toga, na mestima gde je napon dostigao nivo R_e , nastupile su lokalne plastične deformacije. One dovode još i do ojačanja materijala koje je posledica plastičnog deformisanja u hladnom stanju.



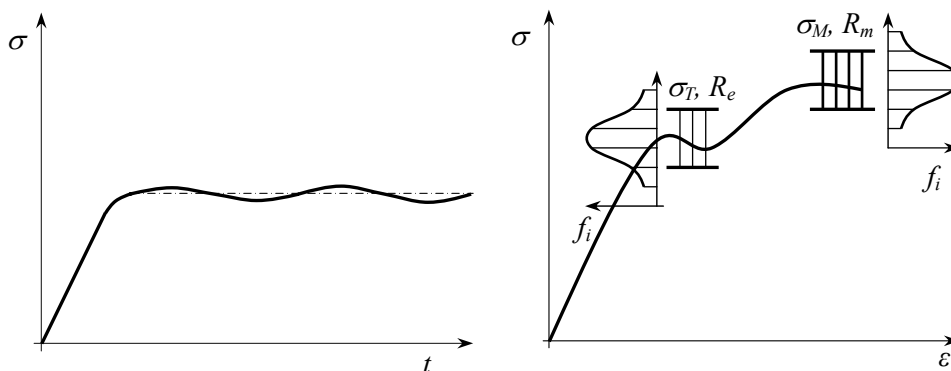
Stepen osetljivosti materijala na koncentraciju napona η_k je

$$\eta_k = \frac{\beta_k \sigma - \sigma}{\alpha_k \sigma - \sigma} = \frac{\beta_k - 1}{\alpha_k - 1} = 0 \dots 1; \quad \beta_k = (\alpha_k - 1)\eta_k + 1$$

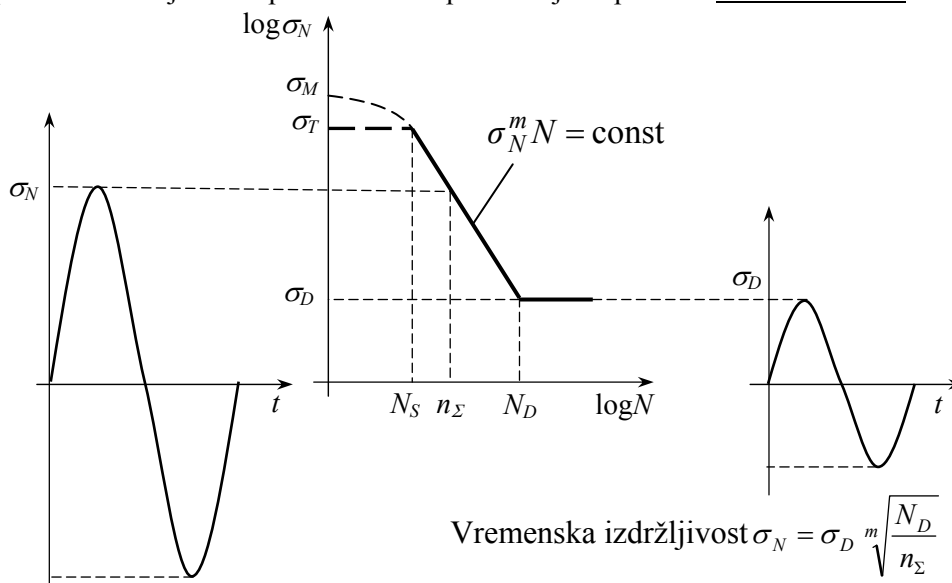
Na koncentraciju napona manje su osetljivi plastičniji materijali, a osetljiviji su oni sa višim nivoom granice elastičnosti. Potpuno plastični materijali ($\eta_k=0$) nisu osetljivi na koncentraciju napona ($\beta_k=1$). Potpuno elastičan materijal je idealni materijal ($\eta_k=1$), neograničeno je elastičan i krt. ($\beta_k=\alpha_k$). Realni materijali su između ovih granica $\eta_k=0,4 \dots 0,95$.

8. Kritični napon

Kritični napon je ona veličina radnog – nominalnog napona koji dovede do kritičnog stanja – razaranja. Za statičko naprezanje to je statička čvrstoća R_e odnosno σ_T , a za dinamičko, to je dinamička izdržljivost σ_D .



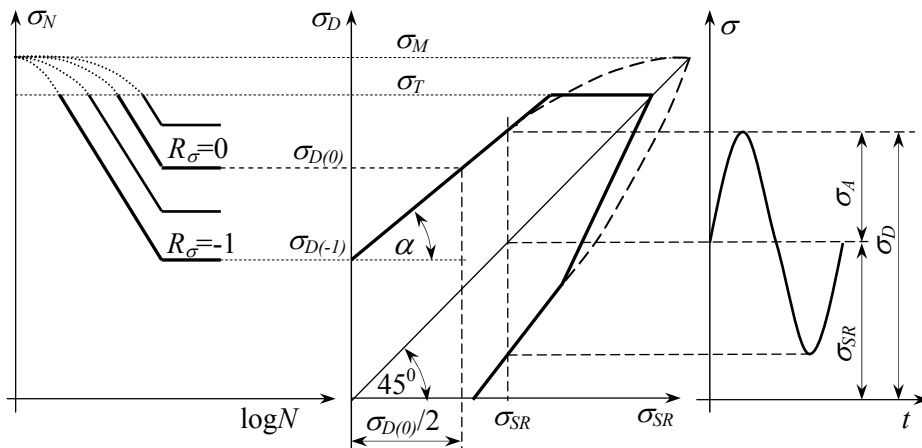
Dinamička izdržljivost je promenljivi napon koji dovede do loma posle N promene. Dobija se eksperimentalno i predstavlja se pomoću Velerove krive.



Trajna dinamička izdržljivost - σ_D je najveći napon koji mašinski deo ili epruveta može da izdrži neograničeni broj ciklusa promene napona. Granični broj ciklusa promena napona N_D je broj promena iznad kojeg dinamička izdržljivost ne zavisi od broja promena N tj. izdržljivost postaje trajna.

9. Smitov dijagram

Smitov dijagram predstavlja vezu izmedju trajne dinamičke izdržljivosti σ_D i srednje vrednosti σ_{SR} ciklične promene trajne dinamičke izdržljivosti. Dijagram se formira za dve karakteristične izdržljivosti $\sigma_{D(-1)}$ i $\sigma_{D(0)}$, koristi se za određivanje izdržljivosti za bilo koji način promene napona. Time je postignuta značajna racionalnost u obimu ispitivanja.

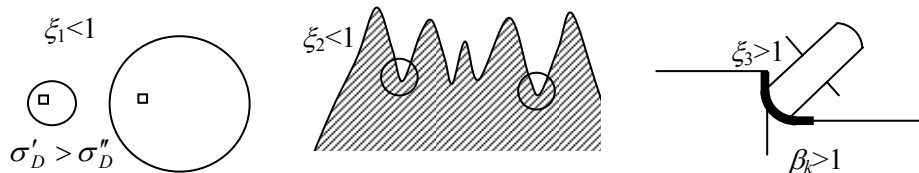


Liniju kritičnog napona (dinamičke izdržljivosti) određuju dve tačke. To su dinamička izdržljivost za naizmeničnu promenu napona ($R_\sigma = -1$) označena sa $\sigma_{D(-1)}$ i dinamička izdržljivost za jednosmernu promenu napona ($R_\sigma = 0$) označena sa $\sigma_{D(0)}$. Srednja vrednost (sinusne vremenske funkcije) za naizmeničnu promenu je $\sigma_{SR} = 0$, a za jednosmernu $\sigma_{SR} = \sigma_{D(0)}/2$. Kroz ove dve tačke prolazi prava linija do napona tečenja σ_T . Ova prava leži pod uglom α koji se iz naznačenog trougla na slici izračunava po obrazcu

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sigma_{D(0)} - \sigma_{D(-1)}}{\sigma_{D(0)}/2} = 2 \left(1 - \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{D(0)}} \right) \leq 45^\circ$$

10. Dinamička izdržljivost mašinskog dela

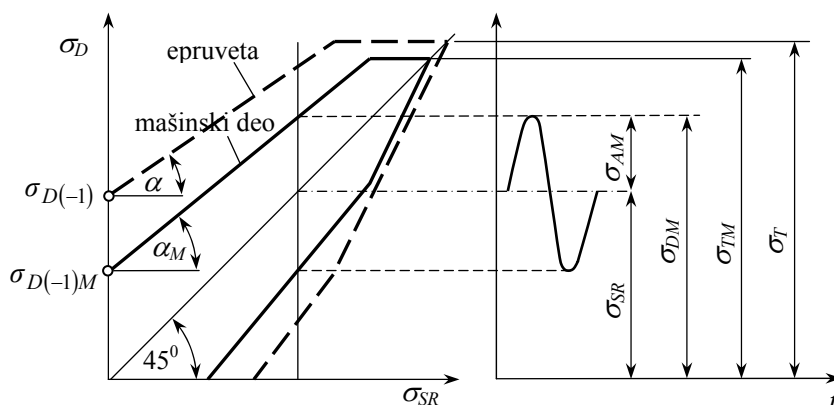
Dinamička izdržljivost mašinskog dela se razlikuje od dinamičke izdržljivosti standardne epruvete. Do ove razlike dovodi razlika u koncentraciji napona, razlika u veličini poprečnog preseka, razlika u hrapavosti površine, razlika u stanju površinskog sloja i dr. Koncentracija napona dovodi do smanjenja dinamičke izdržljivosti proporcionalno veličini $\beta_k > 1$. Sa povećavanjem veličine poprečnog preseka povećava se verovatnoća odstupanja u strukturi te je izdržljivost manja proporcionalno faktoru veličine poprečnog preseka $\xi_1 < 1$. Hrapava površina povećava mikrokoncentraciju napona te je izdržljivost manja proporcionalno faktoru uticaja hrapavosti $\xi_2 < 1$. Ako je površinski sloj ojačan primenom površinskog kalenja ili mehaničkom obradom u hladnom stanju, izdržljivost se povećava proporcionalno faktoru površinskog ojačanja $\xi_3 > 1$.



Dinamička izdržljivost za naizmeničnu promenu napona ($R_\sigma = -1$), je

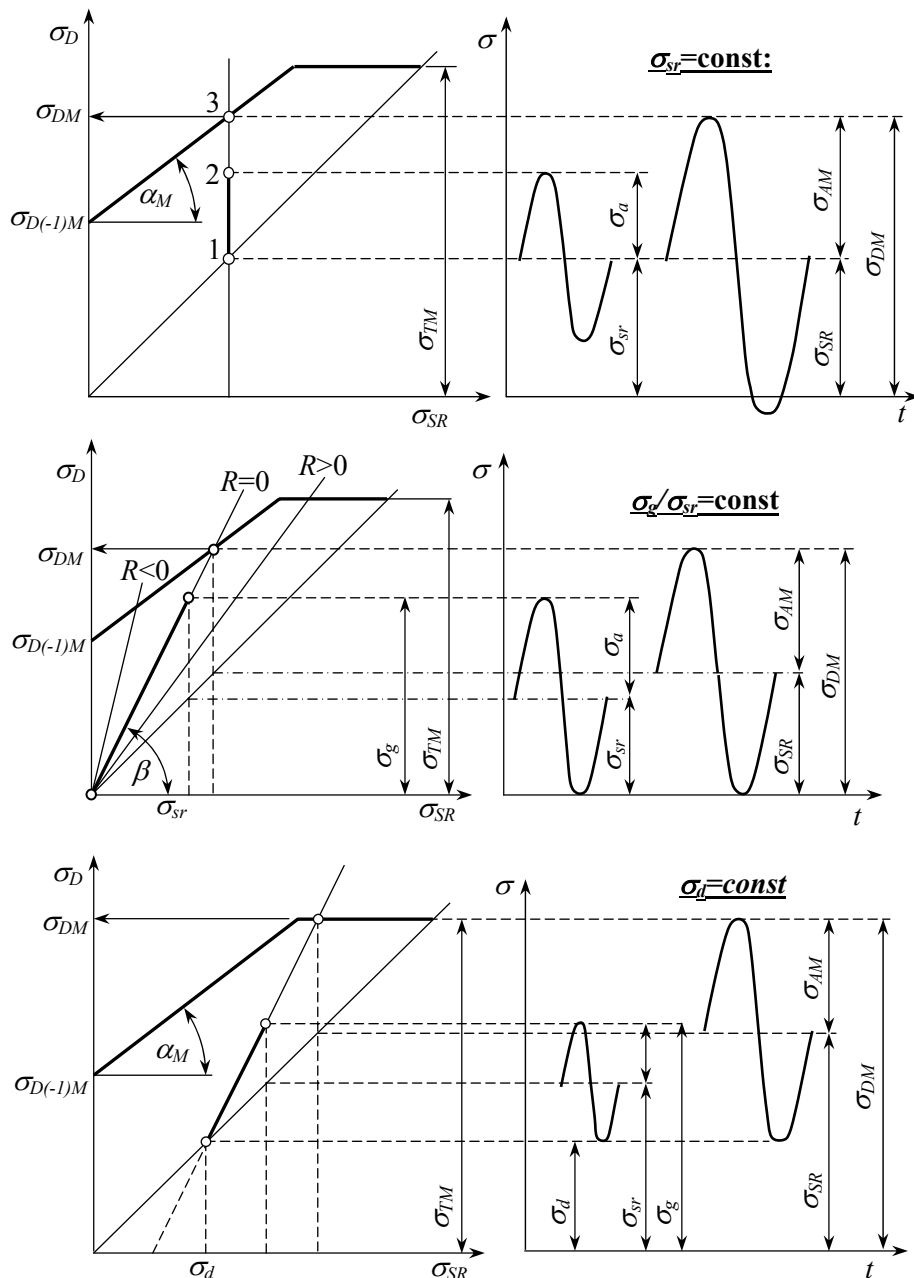
$$\sigma_{D(-)M} = \sigma_{D(-)} \frac{\xi_1 \xi_2 \xi_3 \dots}{\beta_k} = \frac{\sigma_{D(-)}}{K_D} ; \quad K_D = \frac{\beta_k}{\xi_1 \xi_2 \xi_3 \dots}$$

gde je K_D dinamičke izdržljivost. U Smitovom dijagramu linija kritičnog napona se pomera u odnosu na ovu liniju za epruvetu. Ova linija zaklapa novi ugao α_M . Na smanjenje napona tečenja mašinskog dela utiče samo veličina poprečnog preseka pa je $\sigma_{TM} = \sigma_T \xi_1$. Za ove vrednosti se dobija Redukovani Smitov dijagram.



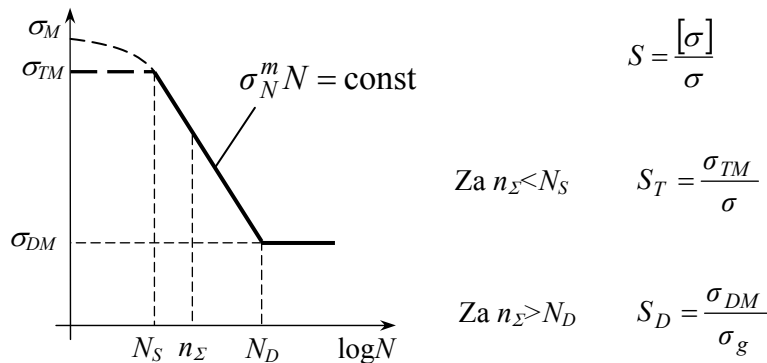
11. Uticaj načina promene napona na izdržljivost mašinskog dela

Pri promeni napona σ_g tačka 2 se pomera po liniji radnog napona. Kritično stanje nastaje kada σ_g dostigne kritičnu vrednost tj. kada stigne u položaj 3 gde se seku linija promene radnog napona i linija promene kritičnog napona. Presek ove dve prave daje dinamičku izdržljivost mašinskog dela $\sigma_{DM} \leq \sigma_{TM}$

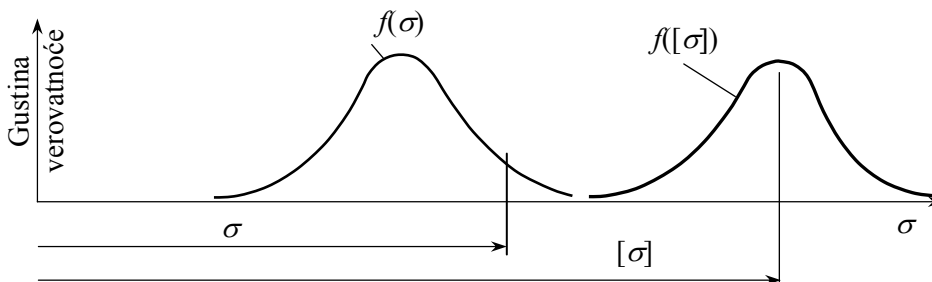


12. Stepen sigurnosti

Stepen sigurnosti je odnos kritičnog napona $[\sigma]$ i radnog napona σ u mašinskom delu. Zavisno od broja promena napona u radnom veku n_s , kritični napon može biti statička čvrstoća σ_{TM} ili dinamička izdržljivost σ_{DM} , te je i stepen sigurnosti pritom statički S_T ili dinamički S_D .

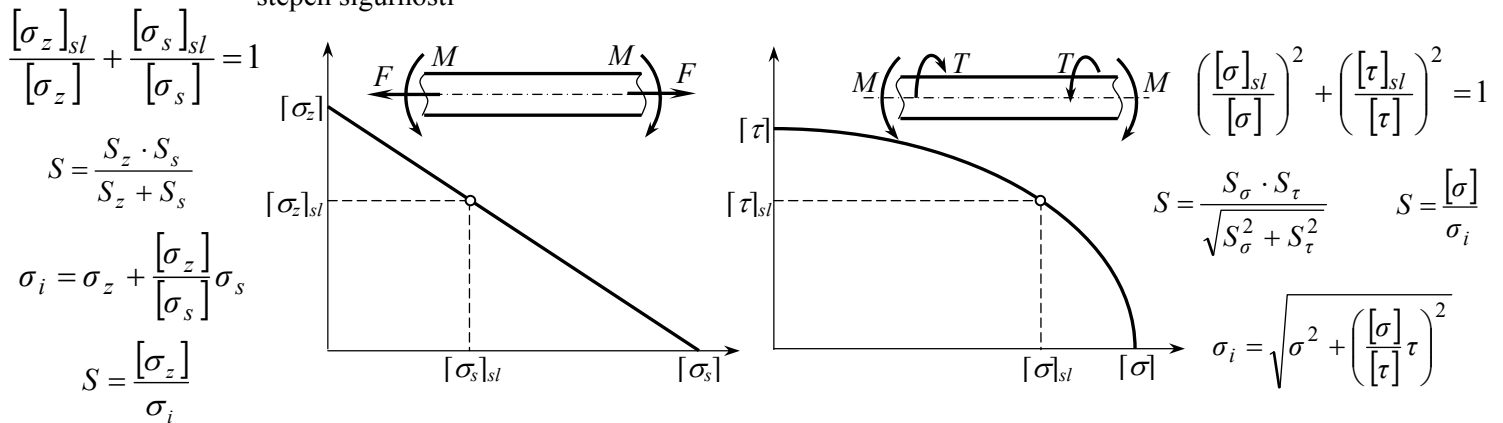


Vrednost stepena sigurnosti je izuzetno značajan parametar za ocenu stanja mašinskog dela. Vrednosti kritičnih i radnih napona nisu determinističke (fiksne) već statističke (varijabilne) veličine. *Dovoljna je ona vrednost izračunatog stepena sigurnosti koja obezbeđuje uslov da radni napon bude manji od kritičnog i pri najmanjem mogućem kritičnom naponu i najvećem mogućem radnom naponu.* Ovaj uslov je ispunjen ako se krive raspodele verovatnoće radnog napona $f(\sigma)$ i kritičnog napona $f([\sigma])$, ne preklapaju. Najpovoljniji je položaj kada su ove dve krive blizu jedna drugoj ali se ne preklapaju. Sigurnost postoji i kada su one međusobno udaljene, ali su tada radni naponi mali, a mašinski deo je neracionalan (predimenzionisan). Ako se krive preklapaju ulazi se u rizik da dodje do razaranja tj. u oblast proračuna na osnovu verovatnoće rizika - pouzdanosti. Da bi se zadovoljio uslov da ne dodje do razaranja, dinamički stepen sigurnosti treba da je veći od 1,25...2,5. Ako su proračunske vrednosti pouzdanije dovoljne su manje vrednosti.



13. Stepen sigurnosti za složeno naprezanje

Složeno napregnuti mašinski delovi su u istom poprečnom preseku izloženi dejstvu dva ili više napona. Naponi mogu biti istorodni (svi normalni ili tangentni) ili raznorodni (normalni i tangentni). Ako je mašinski deo izložen dejstvu **istorodnih napona** zavisnost izmedju kritičnih napona za ta dva naprezanja je linearna. Kritični naponi za prosta naprezanja su: $[\sigma_z]$ – za zatezanje kada nema savijanja i $[\sigma_s]$ – za savijanje kada nema zatezanja. Sa povećavanjem zatezanja $[\sigma_z]_{sl}$, smanjuje se mogućnost prenošenja savijanja $[\sigma_s]_{sl}$. Odgovarajući parcijalni stepeni sigurnosti su za zatezanje $S_z = [\sigma_z]/\sigma_z$ i za savijanje $S_s = [\sigma_s]/\sigma_s$. Primenom navedene linearne zavisnosti dobija se ukupni stepen sigurnosti



Za **raznorodne napone** ova veza se izražava jednačinom elipse. Povećano učešće uvijanja $[\tau]_{sl}$ smanjuje mogućnost prenošenja napona na savijanje $[\sigma]_{sl}$. Kritični naponi za savijanje bez učešća uvijanja je $[\sigma]$, a kritični napon na uvijanje bez učešća savijanja $[\tau]$. Parcijalni stepeni sigurnosti za ove uslove su $S_\sigma = [\sigma]/\sigma$ odnosno $S_\tau = [\tau]/\tau$. Korišćenjem veze izmedju kritičnih napona, dobija se ukupni stepen sigurnosti za raznorodna naprezanja. Ekvivalentni (uporedni) naponi σ_i koriste se pri određivanju dimenzija mašinskih delova. Koriste se za određivanje dimenzija mašinskog dela na osnovu izabranog stepena sigurnosti.

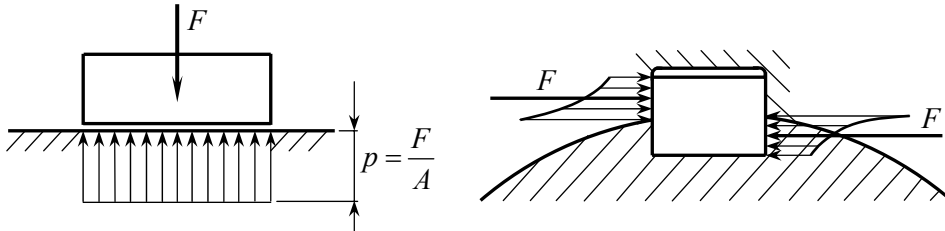
Dozvoljeni napon je najveći napon koji mašinski deo može u toku radnog veka, da izdrži, sa sigurnošću da ne nastupi razaranje ili neko drugo kritično stanje.

$$\sigma_{doz} = \frac{[\sigma]}{S}; \quad \sigma_i \leq \sigma_{doz}$$

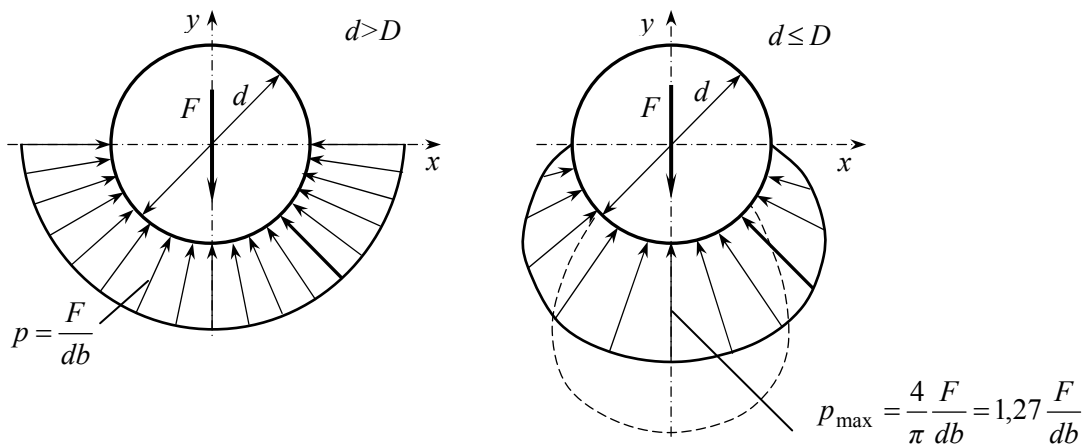
Nosivost mašinskog dela je najveće opterećenje koje mašinski deo može prenositi u radnom veku, pod određenim uslovima, sa sigurnošću da neće nastupiti kritično stanje (razaranje). Nosivost je u stvari opterećenje koje odgovara dozvoljenom naponu.

14. Stepen sigurnosti za površinska naprezanja

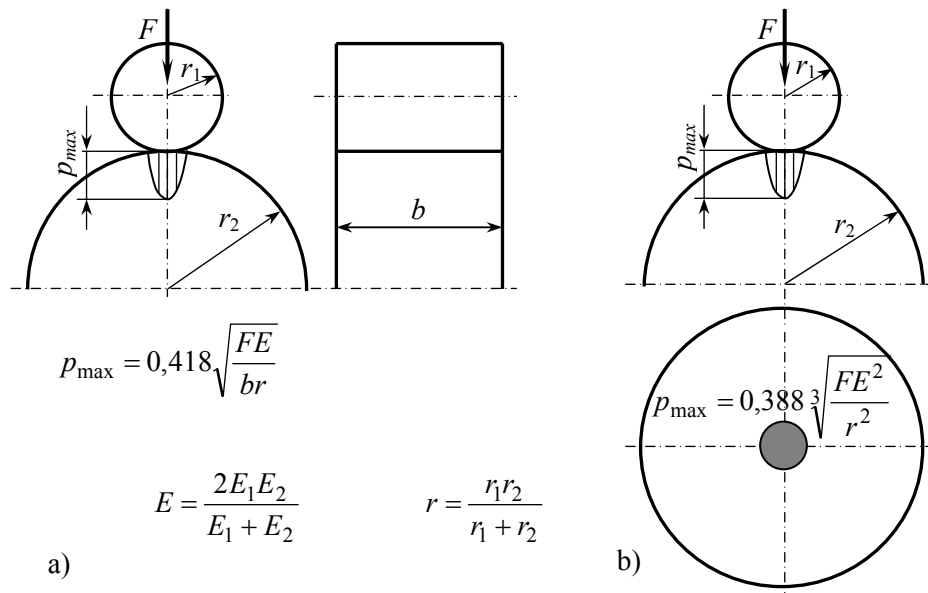
Radni napon se izražava površinskim pritiskom. Ako su dodirne površine ravne, paralelne i glatke, a delovi u dodiru jednake krutosti u svakoj tački dodira, površinski pritisak je ravnomerno raspoređen i iznosi $p=F/A$.



Dodir ispupčene i izdubljene (konveksne i konkavne) površine može biti takav da se jedna u drugu potpuno uklapaju ($d \geq D$) ili da je $d < D$.



Dodir ispupčenih površina predstavlja složeno stanje, a naponi i deformacije na ovom dodiru se određuju u teoriji elastičnosti primenom Hercovih jednačina. Iz ove teorije za određene modele se dobijaju odgovarajući Hercovi obrazci pomoću kojih se određuje Hercov pritisak.

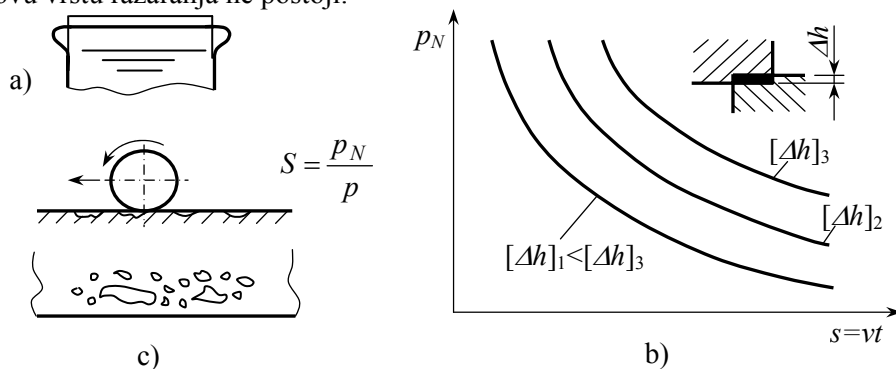


Kritična stanja na površinama mašinskih delova osim od pritiska zavise i od relativne pokretljivosti. Delovi mogu biti međusobno *nepokretni*, mogu da *klizaju* i da se međusobno *kotrljaju*. Kritična stanja i kritični naponi su različiti za ove uslove. Pri dodiru delova koji se međusobno *ne kreću*, pritisak se može povećavati dok na dodiru ne nastupe plastične deformacije. Manifestuju se u vidu tečenja materijala tj. gnječenja i bočnog "razlivanja" površinskog sloja kao što je na slici prikazano. U nedostatku tačnijih podataka, pritisak na granici tečenja površinskog sloja se usvaja kao $p_T = 1,2 R_e$ tj. stepen sigurnosti protiv pojave plastičnih deformacija je

$$S_T = \frac{p_T}{p} = \frac{1,2 R_e}{p}$$

gde je R_e – napon tečenja slabijeg materijala u dodiru. Pošto se ovaj stepen sigurnosti određuje sa orijentacionim vrednostima i kritičnog i radnog napona, to i njegove vrednosti moraju biti veće, preko 3,5 i više.

Klizanjem se odnosi materijal površinskog sloja uz pomoć adhezije, abrazije ili kavitacije, ako su površine razdvojene slojem ulja. Kritični pritisak p_N je u zavisnosti od predjenog puta klizanja u radnom veku odnosno od brzine i vremena klizanja. Osim toga, veličina ovog pritiska određena je debljinom sloja koja se može potrošiti u toku radnog veka $[\Delta h]$. Zavisi još i od tvrdoće delova u dodiru, koeficijenta trenja, stanja površina itd. Trajna izdržljivost za ovu vrstu razaranja ne postoji.

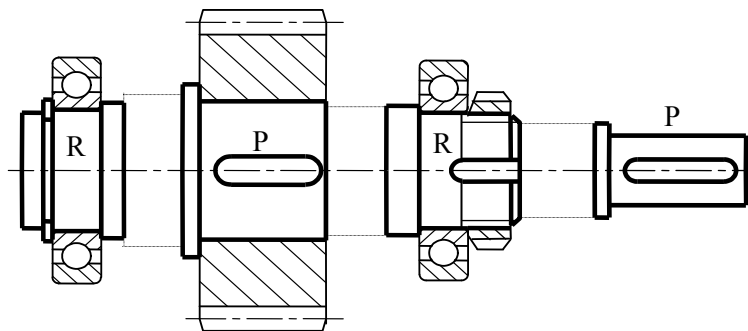


Kritična stanja površinskog sloja mašinskih delova: a) gnječenje površinskog sloja, b) trošenje klizanjem, c) trošenje površinskim zamaranjem (piling).

Kotrljanjem se površinski sloj odnosno čestice površinskog sloja izlažu površinskom zamaranju. Pri svakom prekotrljavanju ostvari se po jedna promena napona, te posle relativno velikog broja promena, nastaju prsline. Njihovim širenjem otpadaju čestice i ljuspice. Stvaraju se veće ili manje rupice i krateri. Trošenje površinskim zamaranjem (piling) je prisutno kod svih mašinskih delova koji funkciju izvršavaju kotrljanjem. Veza između kritičnog pritiska p_N i broja promena napona slična je krivoj zamaranja kod zapreminskih naprezanja (Velerovoj krivoj), a sličan je i postupak ispitivanja i proračuna.

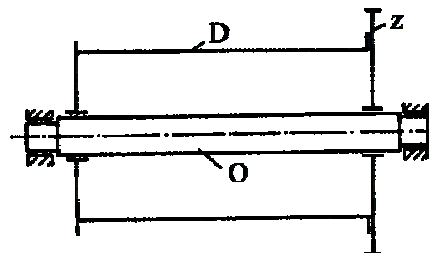
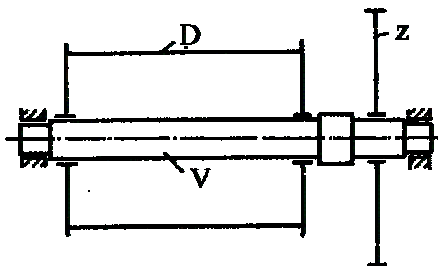
15. Pojam, funkcija i podela vratila. Pojam osovine i osovince

Vratila su nosači obrtnih mašinskih delova, omogućuju njihovo spajanje u rotacionu celinu, prenose poprečne i uzdužne sile i obrtne momente, stvaraju mogućnost za ostvarivanje rotacije potrebnom brzinom i dr. Vratila su obrtni mašinski delovi kružnog poprečnog preseka, čiji se oblik i dimenzije formiraju u skladu sa dimenzijama, rasporedom i opterećenjem mašinskih delova koje spajaju u rotacionu celinu. Oblik u skladu s tim čine podglavci (P) gde se oslanjaju i spajaju glavčine zupčanika, spojnice i sl. i rukavci (R) gde se oslanjaju i ugrađuju ležaji. Spajanjem rukavaca i podglavaka formira se oblik vratila.

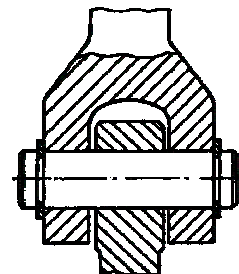


Podela: Vratila prenosnika, pogonska vratila, specijalna (posebna vratila)

Razlika izmedju vratila i osovine: Vratilo prenosi obrtni moment i izloženo je uvijanju. Osovina ne prenosi obrtni moment. Može biti obrtna i kružnog poprečnog preseka kao sto su vratila. Može biti fiksna i kvadratnog, pravougaonog ili I-profila poprečnog preseka.

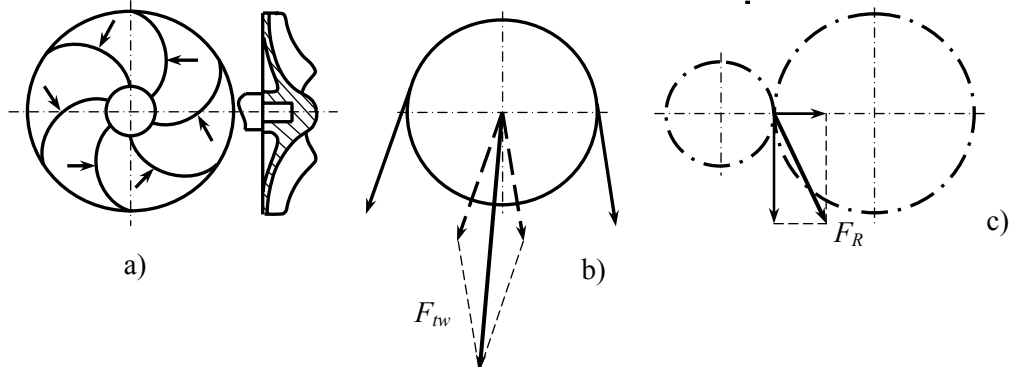


Osovinice su osovine male dužine. Koriste se uglavnom za ostvarivanje zglobne veze. Za razliku od osovine dominantno naprezanje kod osovinice je smicanje, osim savijanja koje je takodje prisutno.

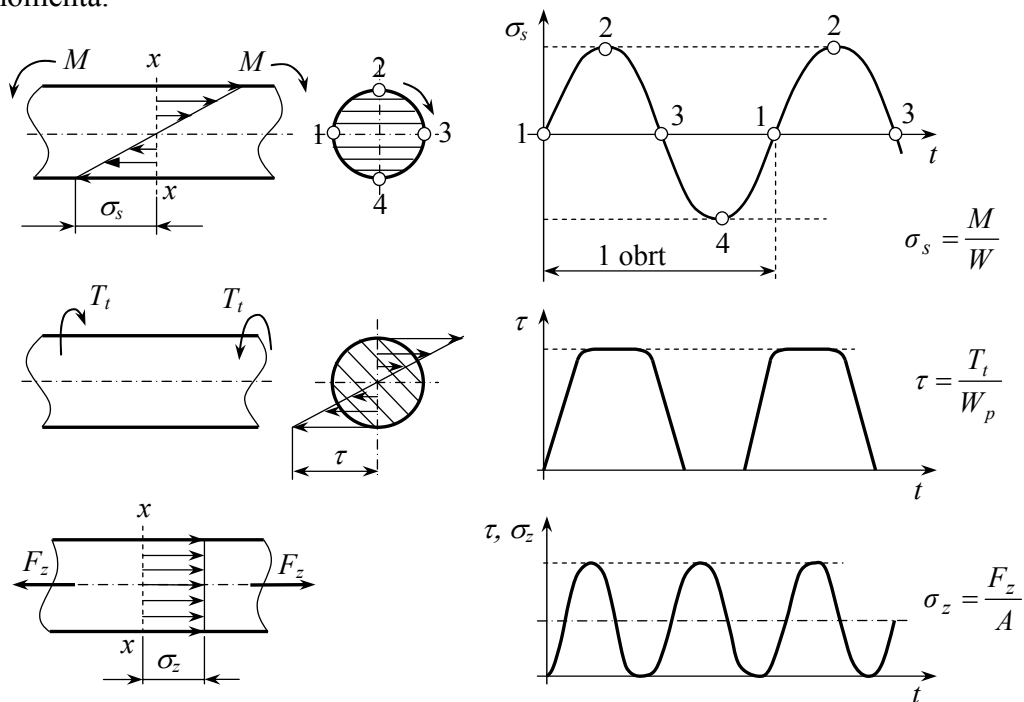


16. Opterećenje i naponi u vratilu

Vratilo je izloženo dejstvu prostornog sistema sila i spregova koje prenosi sa obrtnih delova, na nepomične oslonce. Prema karakteru opterećenja koje ostvaruju, obrtni delovi koji se oslanjaju na vratilo, mogu se podeliti u tri grupe: obrtni delovi koji opterećenje prenose celim svojim obimom, oni koji snagu (obrti moment) prenose jednim delom svog obima i obrtni delovi koji snagu (obrti moment) prenose dodirnom, teorijski u jednoj tački na obimu. Osim toga vratilo je izloženo dejstvu obrtnih momenata i aksijalnih sila.



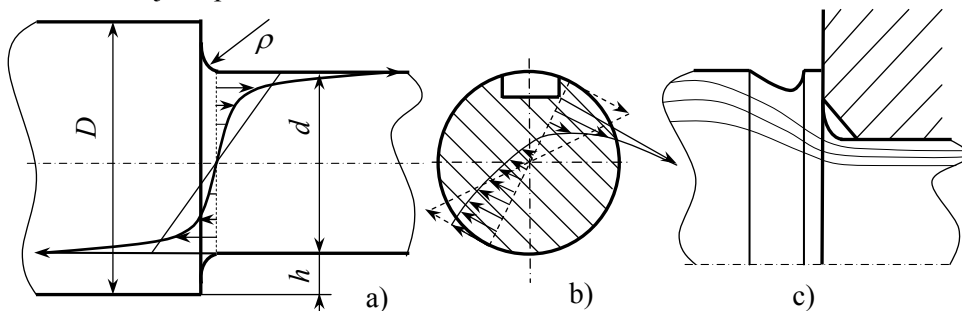
Naponi u vratilu: napon usled savijanja vratila je naizmenično promenljiv usled rotacije vratila; napon uvijanja u zatezanja (pritiska) je jednosmerno promenljiv usled povremenog prekida u prenošenju obrtnog momenta.



17. Dinamička izdržljivost i stepen sigurnosti vratila

Dinamička izdržljivost vratila se određuje na osnovu dinamičke izdržljivosti standardne epruvete uzimajući u obzir uticaj koncentracije napona, veličine poprečnog preseka, hrapavosti površina i eventualno ojačanja površinskog sloja.

Koncentracija napona u vratilu: Vratilo je mašinski deo sa izrazitim diskontinuitetima u veličini poprečnog preseka, sa uzdužnim i poprečnim žlebovima, navojima, otvorima, čvrstim, neizvesnim i labavim naleganjima i dr. koji su potrebni za naslanjanje i spajanje delova kao i za prenošenje opterećenja. Izvori koncentracije napona kod vratila mogu se podeliti u tri grupe. Prvu grupu čine nagle promene prečnika vratila izazvane potrebom za naslanjanjem glavčina i ležaja. Druga grupa izvora koncentracije napona odnosi se na naleganja vratila, glavčina i ležaja. Čvrsta naleganja izazivaju vrlo intenzivnu koncentraciju napona dok je kod labavih ona manja. Treću grupu izvora koncentracije napona čine žlebovi (uzdužni i poprečni) koji su potrebni za ostvarivanje spojeva sa vratilom. Iako je koncentracija napona kod vratila veoma prisutna, njeni efekti nisu u toj meri izraženi. Vratila se po pravilu izrađuju od konstrukcijskih čelika opšte namene koji su manje osetljivi na koncentraciju napona.



Koncentracija napona: a) savijanje, b) uvijanje, c) uticaj žleba rasterećenja

Za savijanje σ_{DM} i za uvijanje τ_{DM} dinamička izdržljivost vratila i stepen sigurnosti je

$$\sigma_{DM} = \sigma_{D(-)M} = \sigma_{D(-)} \frac{\xi_{1s} \xi_{2s} \xi_{3s}}{\beta_{ks}} \quad \tau_{DM} = \frac{\tau_{D(-)M}}{1 - 0,5 \lg \alpha_M} \quad \tau_{D(-)M} = \tau_{D(-)} \frac{\xi_{1u} \xi_{2u} \xi_{3u}}{\beta_{ku}}$$

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_{DM}}{\sigma} \quad S_{\tau} = \frac{\tau_{DM}}{\tau} \quad S = \frac{S_{\sigma} S_{\tau}}{\sqrt{S_{\sigma}^2 + S_{\tau}^2}}$$

Sigurnost je zadovoljena ako je stepen sigurnosti veći od 1,5...2,5, zavisno od pouzdanosti podataka korišćenih u proračunu.

18. Izbor dimenzija vratila

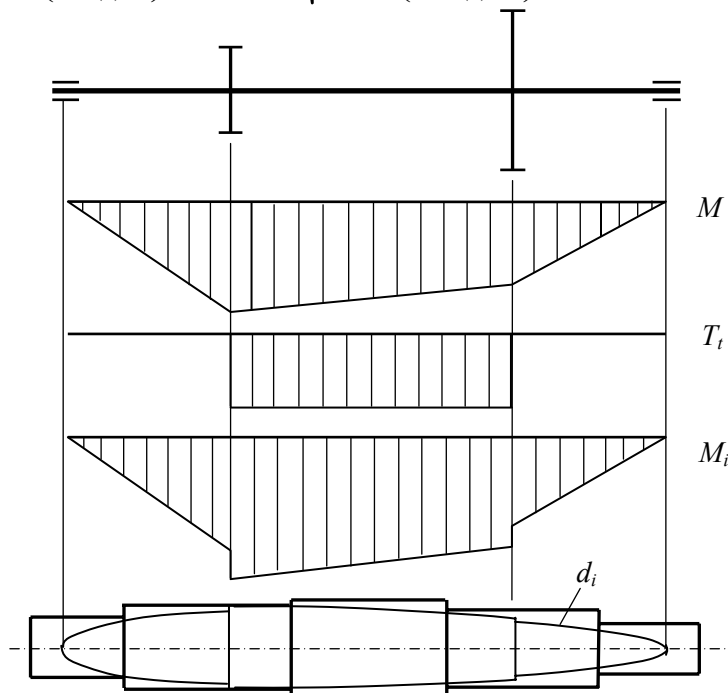
Dužina vratila odnosno rastojanje između oslonaca zavisi od njegove funkcije. Kod vratila prenosnika dužina odgovara zbiru širina glavčina obrtnih delova na vratilu, potrebnim međuprostorima i širinama ležaja. Dimenzije poprečnog preseka vratila mogu se izračunati na osnovu potrebne čvrstoće tako da u toku radnog veka ne dođe do razaranja. Potrebno je da radni napon u presecima vratila bude manji od dozvoljenog. Za kružni puni poprečni presek kod kojeg je otporni moment $W=0,1d^3$, iz ovog uslova sledi

$$\sigma_i = \frac{M_i}{W} = \frac{M_i}{0,1d^3} \leq \sigma_{doz}; \quad d \geq k \sqrt[3]{\frac{10M_i}{\sigma_{doz}}}; \quad \sigma_{doz} = \frac{\sigma_{D(-1)}}{K_D S}$$

Dozvoljeni napon se određuje na osnovu izdržljivosti materijala (eprovete) pri naizmenično promenljivom savijanju $\sigma_{D(-1)}$, koeficijenta dinamičke izdržljivosti K_D koji obuhvata procenjenju koncentraciju napona, uticaj veličine preseka i hrapavost i na osnovu potrebne veličine stepena sigurnosti, na primer $S=2$.

Po hipotezi najvećeg deformacionog rada

$$\sigma_i = \sqrt{\sigma^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{\tau_{D(0)}} \tau \right)^2}; \quad M_i = \sqrt{M^2 + \left(\frac{\sigma_{D(-1)}}{2\tau_{D(0)}} T_t \right)^2}; \quad M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}$$

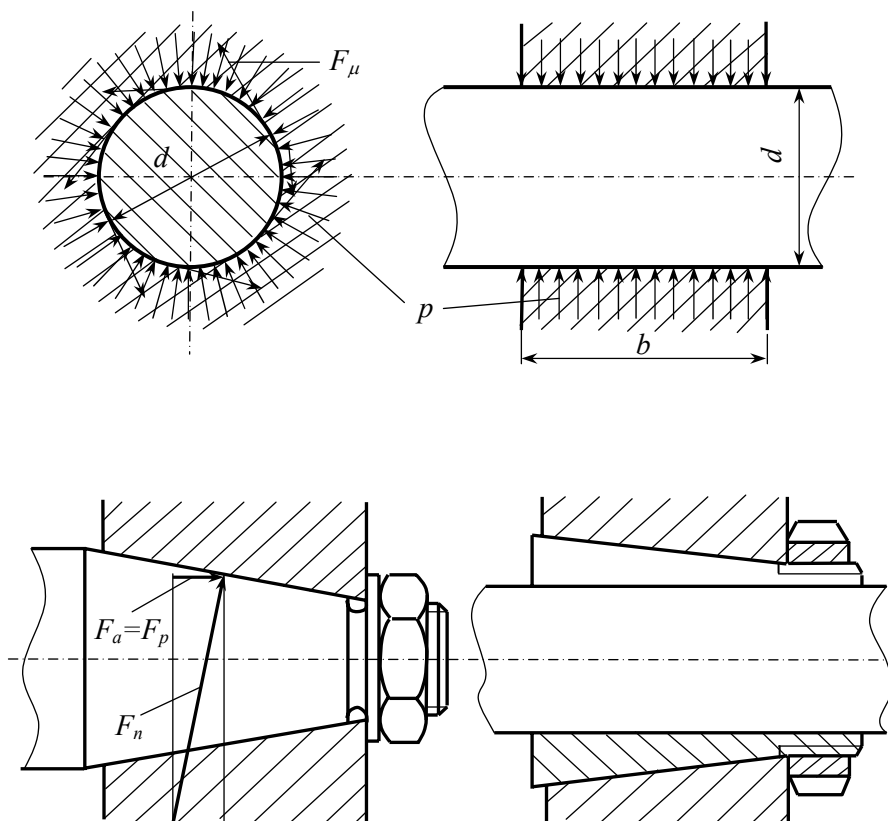


19. Spojevi vratila i glavčina trenjem

Da bi se opterećenje prenosilo sa glavčine na vratilo i obrnuto, posredstvom trenja, potrebno je da se na dodiru obezbedi pritisak p dovoljan da pod dejstvom radnog opterećenja ne dodje do proklizavanja. Potrebno je da sila trenja F_μ bude veća od tangentne sile na dodiru vratila i glavčine $F_t = 2T/d$, gde je T moment koji se prenosi, a d prečnik dodirne površine $A = d\pi b$ vratila i glavčine širine b .

$$F_\mu > F_t; \quad pA\mu = S_\mu F_t; \quad p = \frac{S_\mu F_t}{A\mu}; \quad S_\mu = \frac{p_d A\mu_k}{F_t}$$

Stepen sigurnosti protiv klizanja S_μ stvara uslove da sila trenja uvek bude veća od tangentne sile. Pritisak na dodiru se može ostvariti posredstvom čvrstog naleganja (presovanog spoja) ili uklinjavanjem konusnih površina.



20. Spojevi vratila i glavčina klinovima bez nagiba

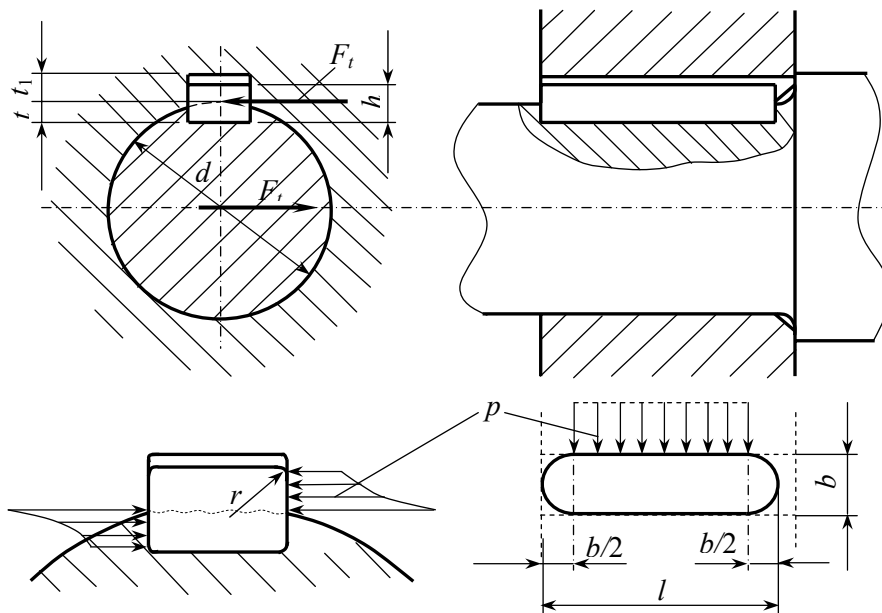
Za prenošenje obrtnog momenta uglavnom se koristi uzdužni klin bez nagiba. To je prizmatični oblik širine b i visine h , smešten u žleb na vratilu koji se po pravilu izrađuje vretenastim glodačem te je ovaj klin zaobljen na krajevima. U glavčini je žleb veće dubine t_1 nego što je potrebno za smeštaj klina visine h , tako da se formira zazor između klina i dna žleba. Ovaj zazor je vrlo značajan za funkciju spoja klinom bez nagiba jer klin ne ometa centriranje glavčine i podglavka ostvareno naleganjem na prečniku d .

Izložen je naponu pritiska na bočnim površinama i smicanju. Pod dejstvom momenta T koji se prenosi preko ovog spoja, nastaje spreg sila F_t na rastojanju $d/2$ odakle sledi da je klin izložen dejstvu sile $F_t = 2T/d$. Na bočnim dodirnim površinama pritisak i stepen sigurnosti u odnosu na gnječenje površinskog sloja

$$p = \frac{F_t}{h_a(l-b)}; \quad h_a = h - t - r; \quad S_T = \frac{p_T}{p} = \frac{1,2R_e}{p}$$

Aktivna visina dodira je označena sa h_a , a sa R_e napon tečenja slabijeg materijala u dodiru. Klin je od hladno vučene šipke preseka $b \times h$ od Č 0545. Klin je još izložen i smicanju u ravni koja tangira dodirni cilindar glavčine i podglavka. Napon i stepen sigurnosti za ovo naprezanje su

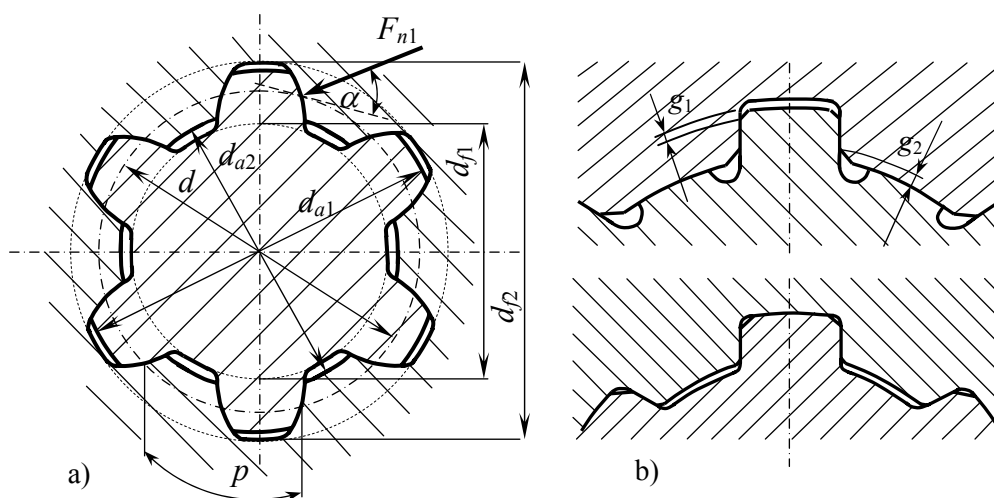
$$\tau = \frac{F_t}{b(l-b/2)}; \quad S = \frac{\tau_T}{\tau} = \frac{0,7R_e}{\tau}$$



Uzdužni klin bez nagiba

21. Žlebni spojevi

Opterećenje se raspoređuje na veći broj žlebova z , smanjen je pritisak na dodiru i povećana nosivost. Nedostaci: *Raspodela opterećenja na žlebove je neravnomerna; Centriranje ose vratila i ose glavčine može se izvesti povećanom tačnošću izrade bočnih ili spoljnih ili unutrašnjih dodirnih površina; Izrada je moguća samo primenom specijalnih alata koji su prihvatljivi samo kod visokih serij; Smanjuju noseću površinu poprečnog preseka vratila. Profil žleba (boka) može biti ravan ili evolventni i tada se izrađuje na istim mašinama za izradu zupčanika.*



Žlebni spojevi: a) sa evolventnim bokovima, b) sa ravnim bokovima

Nosivost:

$$p = \frac{F_{t1}}{lh_a}; \quad F_{t1} = \frac{2T}{zd} \zeta_r; \quad h_a = \frac{d_{a1} - d_{a2}}{2} - (g_1 + g_2); \quad S = \frac{[p]}{p}$$

gde je T -obrtni moment koji može biti uvećan faktorom udara, l -dužina dodira (širina glavčine u dodiru), h_a -aktivna visina dodira bokova žlebova, g_1 i g_2 su oborene (zakošene) ivice temenih površina. Faktor neravnomernosti raspodele opterećenja ζ_r zavisi od tačnosti izrade i od broja žlebova i može biti u granicama $1,4 \dots z/2$. Kritični pritisak $[p]$ kod žlebnih spojeva kod kojih nema kretanja pod opterećenjem je $p_T = 1,2R_e$, a kod spojeva kod kojih se ostvaruje klizanje pod opterećenjem, kritični napon je izdržljivost bokova na habanje p_N .

Izrada žlebova u glavčinama ostvaruje se metodom provlačenja. Alat za provlačenje (provlačač) je u obliku štapa, istog profila kao što je profil otvora u glavčini zajedno sa žlebovima.