

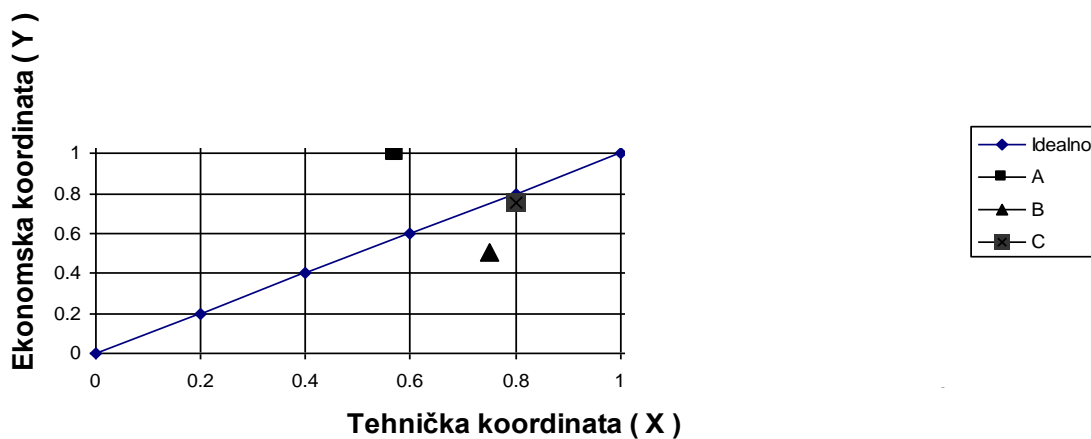
RAZRADA USVOJENOG KOMPROMISNOG TEHNIČKOG REŠENJA

Embrion svakog proizvoda nalazi se u ideji o stvaranju proizvoda određenih performansi (tehničkih karakteristika).

U procesu konstruisanja zamišljeni proizvod se razrađuje kroz faze konstruisanja:

1. Definisanje projektnog zadatka
2. Koncipiranju tehničkog rešenja
3. Razrada tehničkog rešenja
4. Kompletiranje tehničke dokumentacije.

U prvom delu predmeta *Osnove konstruisanja* razrađene su prve dve faze. Izlaz iz ove dve faze je izbor kompromisnog tehničkog rešenja na osnovu tehno-ekonomske analize više varijantnih rešenja (Slika 1)



Slika 1.

U sledećoj fazi, fazi br. 3, sumu izvršiocima elementarnih i parcijalnih funkcija, u okviru izabranog kompromisnog tehničkog rešenja, treba definisati oblik i dimenzije uvažavanjem sledećih uslova:

- | | |
|----------------------|----------------------|
| ▪ funkcije i namene | ▪ ergonomije |
| ▪ čvrstoće | ▪ ekonomičnosti |
| ▪ krutosti | ▪ ekologije |
| ▪ stabilnosti | ▪ tehnologije izrade |
| ▪ pouzdanosti | ▪ bezbednosti |
| ▪ racionalnosti mase | ▪ dizajna |



Sve mašinske konstrukcije, ma koliko bile različite po obliku, dimenzijama i nameni, imaju veliki broj sličnih ili istih izvršioca elementarnih ili parcijalnih funkcija. Njihove dimenzije i oblici su standardizovani, unificirani ili tipizirani.

Zato izabranom kompromisnom rešenju prvo treba identifikovati ove izvršioce elementarnih i parcijalnih funkcija.

Oblici i dimenzije izvršioca elementarnih funkcija prvo se definišu sa aspekta njihove funkcije i namene.

Sledeći kriterijum po važnosti koji diktira oblik i dimenzije izvršiocima elementarnih funkcija je uslov čvrstoće. Da bi izvršioci elementarnih funkcija obavljali svoju funkciju ispravno oni moraju imati potrebnu čvrstoću protiv zapreminskog i površinskog razaranja. Definisane oblika i dimenzija izvršioca elementarnih funkcija sa aspekta čvrstoće sledi, na osnovu tzv. prethodnog proračuna, iz poznatog uslova:

$$\sigma \leq \sigma_{doz}, \\ \tau \leq \tau_{doz},$$

gde su:

σ i τ – radni naponi (normalni i tangencijalni) u kritičnom poprečnom preseku,

σ_{doz} i τ_{doz} – dozvoljeni naponi (normalni i tangencijalni):

$$\sigma_{doz} = \frac{[\sigma]_M}{S}, \\ \tau_{doz} = \frac{[\tau]_M}{S},$$

gde su:

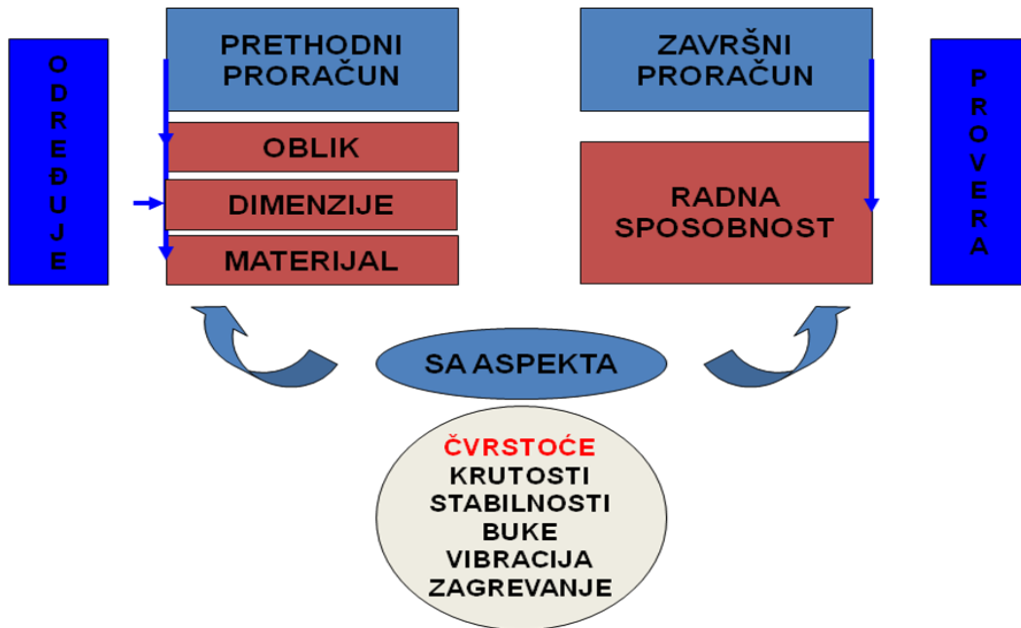
$[\sigma]_M$ i $[\tau]_M$ – kritični naponi mašinskog dela (izvršioca elementarnih funkcija),

S – stepen sigurnosti.

Radni naponi σ i τ se određuju zavisno od vrste naprezanja prema poznatim izrazima iz Otpornosti materijala.

Pored prethodnog proračuna koji se koristi za definisanje oblika i dimenzija izvršioca elementarnih funkcija postoji i tzv. završni proračun koji je integralni deo tehničke dokumentacije.

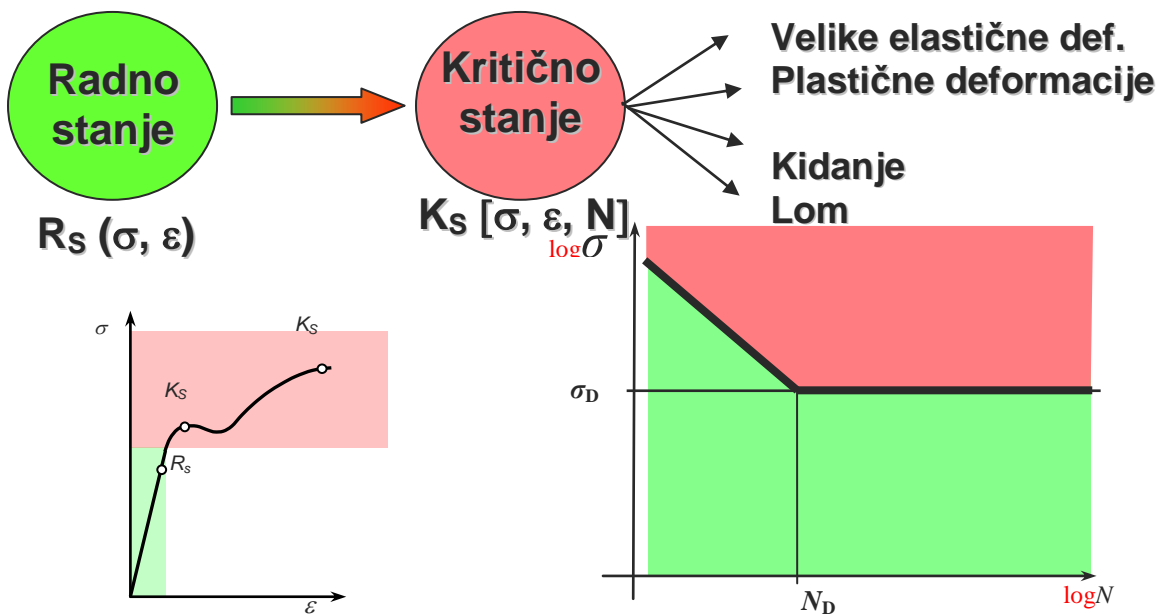
U ovom proračunu vrši se detaljna analiza radne sposobnosti izvršioca elementarnih funkcija.



Slika 2.

IZBOR STEPENA SIGURNOSTI

Pri analizi radne sposobnosti mašinskih konstrukcija ne može se teorijski u potpunosti sagledati ponašanje mašinskih delova i sklopova u radnim i kritičnim uslovima, a bez odgovarajućih ispitivanja na realnim delovima, sklopovima i mašinskim konstrukcijama ili njihovim prototipovima i modelima. Svaki radni uslov (radno stanje- R_S) pod određenim okolnostima može preći u granični – kritični uslov (kritično stanje- K_S) koji dovodi do nekog kritičnog stanja (lom: statički ili dinamički, plastične deformacije, gubitak stabilnosti, velike elastične deformacije, zagrevanje).



Slika 3.

Da bi mašinska konstrukcija, koja obavlja opštu funkciju sistema, njen sklop ili deo, ispravno i bezbedno radili (bez otkaza), potrebno je da radni uslovi, kvantifikovani u vidu opterećenja, deformacije, brzine, temperature, ne dostignu vrednosti kritičnih uslova, tj. potrebno je ispuniti sledeći uslov:

$$S = \frac{\text{kritični uslov}}{\text{radni uslov}} > 1,$$

pri čemu je vrednost stepena sigurnosti

$$S = p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 \cdot \dots,$$

gde su:

p_1 – stepen pouzdanosti određivanja radnog opterećenja,

p_2 – stepen pouzdanosti određivanja kritičnog opterećenja,

p_3 – uslovi bezbednosti,

Odnosom intenziteta veličine koja opisuje neki kritični uslov i intenziteta veličine koja opisuje korespondentni radni uslov definisan je stepen sigurnosti protiv neke neželjene – kritične pojave. **Stepen sigurnosti** pokazuje koliko je radno stanje udaljeno od kritičnog stanja. Poznavanjem intenziteta veličina koje opisuju radne i kritične uslove mogu se odrediti stepeni sigurnosti tj. može se proveriti radna sposobnost mašinskih delova i sklopova prema sledećim kriterijumima:



- kriterijum nosivosti: $S = \frac{[F]}{F}$
- kriterijum deformacija: $S = \frac{[\varepsilon]}{\varepsilon}$
- kriterijum stabilnosti: $S = \frac{[\omega]}{\omega}$
- kriterijum zagrevanja: $S = \frac{[\theta]}{\theta}$

gde su:

$[F]$, $[\varepsilon]$, $[\omega]$ i $[\theta]$ – kritične vrednosti opterećenja, deformacija, ugaone brzine i temperature, respektivno,

F , ε , ω i θ – radni uslovi istih veličina.

Kriterijum nosivosti definisan izrazom

$$S = \frac{[F]}{F},$$

može se napisati i u sledećem obliku:

$$S = \frac{[\sigma]}{\sigma}; \quad S = \frac{[\tau]}{\tau}; \quad S = \frac{[p]}{p},$$

gde su:

$[\sigma]$, $[\tau]$ i $[p]$ – kritični naponi: normalni, tangencijalni i kontakti,

σ , τ i p – radni naponi: normalni, tangencijalni i kontakti.

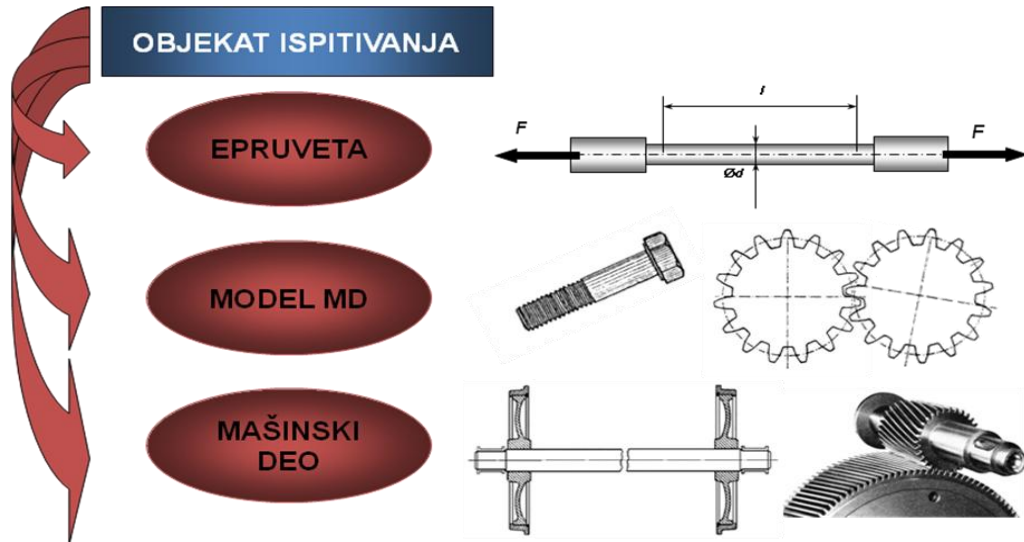
Mašinski deo	Zupčanik	Vratilo	Zavrtnanj		Presovani spoj
			Podešeni	Nepodešeni	
Minimalni stepen sigurnosti S_{min}	1,25	1,50	1,50	1,25	1,10

IZBOR MATERIJALA – KRITIČNOG NAPONA

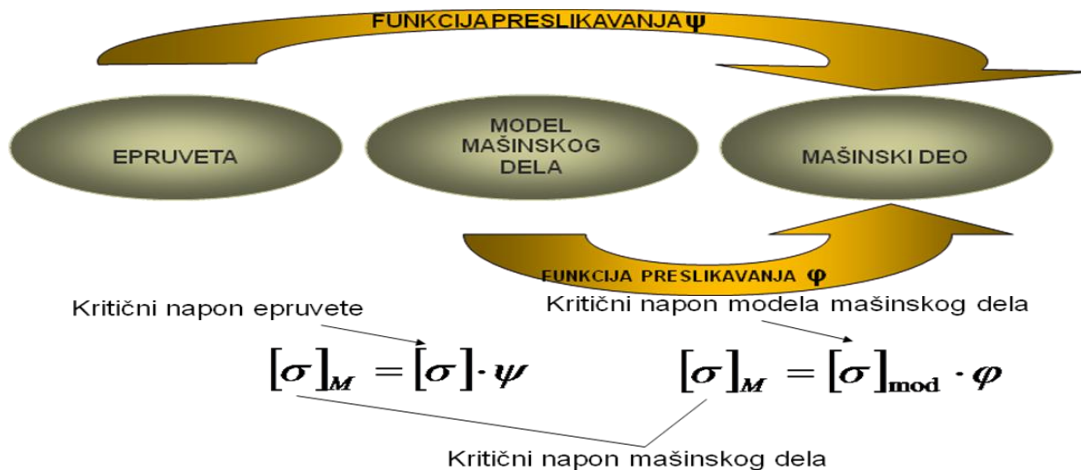
Izbor materijala i odgovarajućeg kritičnog napona vrši se na osnovu kritičnog stanja, a to je stanje kada mašinski deo ne može da obavlja elementarnu funkciju:

- elastične deformacije
- plastične deformacije
- statički lom
- dinamički lom
- habanje
- zagrevanje
- velike vibracije
- velika buka

Do kritičnog napona mašinskih delova može se doći ispitivanjem epruveta, modela mašinskih delova ili ispitivanjem samih mašinskih delova.



Slika 4.



Slika 5.



KRITIČNI NAPONI MAŠINSKIH DELOVA

Mehaničke karakteristike materijala dobijene ispitivanjem mašinskih delova (kritični naponi mašinskih delova) razlikuju se, u većoj ili manjoj meri, od mehaničkih karakteristika dobijenih ispitivanjem standardnih epruveta. Najpouzdanije mehaničke karakteristike mašinskih delova dobijaju se njihovim ispitivanjem na uređajima koji dosledno reprodukuju radne uslove. Reprodukovanje radnih uslova na uređaju za ispitivanje veoma je teško ostvariti, a ispitivanje velikog broja mašinskih delova i elemenata (različitih po obliku i dimenzijama) je kompleksan posao koji ekonomsku opravdanost može naći samo kod vitalnih delova izuzetno odgovornih mašinskih konstrukcija. Imajući sve ovo u vidu, do mehaničkih karakteristika mašinskih delova i elemenata može se doći primenom sledećih postupaka:

- primenom kratkotrajnih ubrzanih ispitivanja pri kojima su uslovi ispitivanja znatno stroži nego stvarni uslovi rada;
- ispitivanjem modela mašinskih delova primenom zakona potpune geometrijske sličnosti i Košijevog zakona, po kojem model i realan objekat imaju istu radnu sposobnost (isti stepen sigurnosti);
- korišćenjem podataka na osnovu ispitivanja etalon-mašinskih delova, kao što su vijak, ležaj, zupčanik, remen, lanac itd., koji važe za određene radne uslove. Primenom korekcionih faktora – faktora radnih uslova analitičkim putem se može doći do podataka o mehaničkim karakteristikama mašinskih delova za odgovarajuće radne uslove;
- korišćenjem podataka dobijenih ispitivanjem standardnih epruveta i primenom odgovarajućih korekcionih faktora može se doći do podataka o mehaničkim karakteristikama mašinskih delova, kao što su osovine, vratila, razni nosači itd.

KRITIČNI NAPONI MAŠINSKIH DELOVA U STATIČKIM USLOVIMA

Statički uslovi mašinskog dela određeni su sledećim uslovima:

a) $R_{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sigma_g} = 1,0$ i $\sigma_a = 0$,

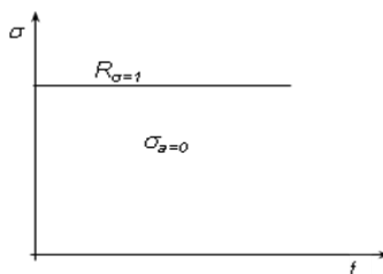
gde su:

R_{σ} – faktor asimetrije napona,

σ_d – donji napon,

σ_g – gornji napon,

σ_a – amplitudni napon.



b) $R_\sigma \neq 1, 0, \sigma_a \neq 0, \sigma_{\max} = \sigma \cdot \alpha_k < Re_M$ i $n < 10^3$

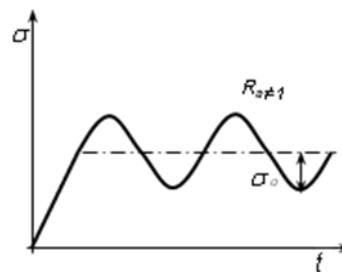
gde su:

σ – nominalni napon,

α_k – geometrijski faktor koncentracije napona,

n – broj promena napona,

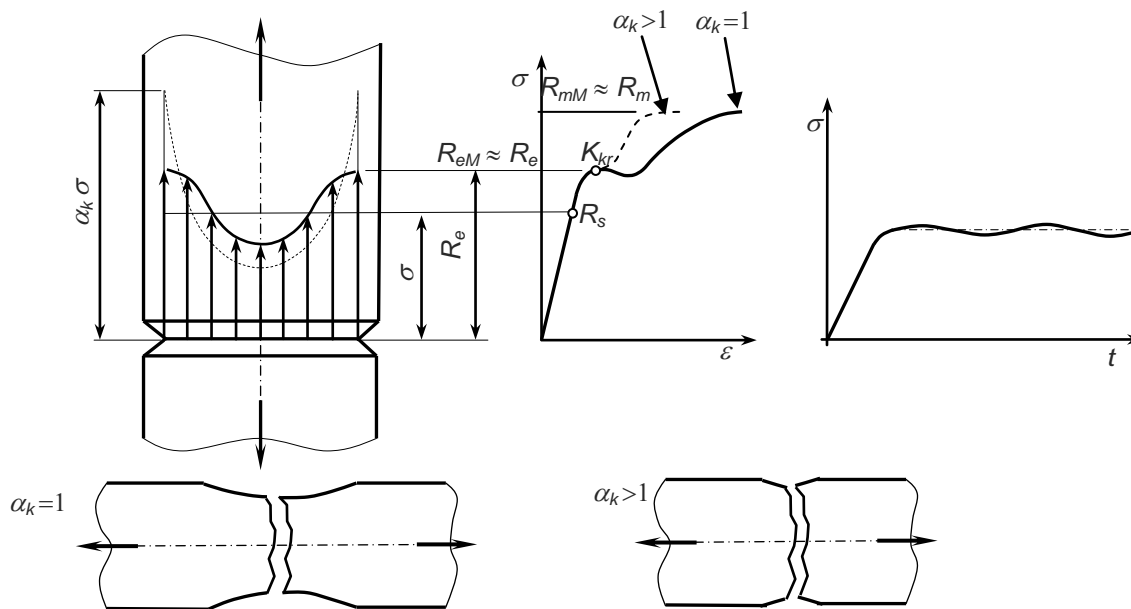
Re_M – napon tečenja mašinskog dela.



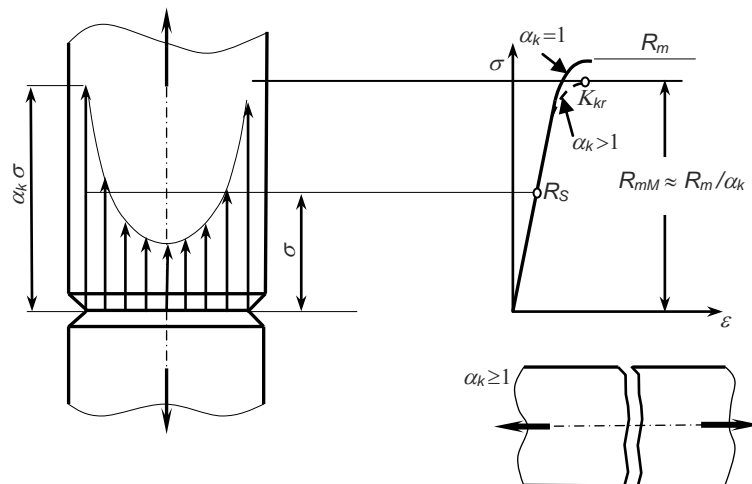
Statičke karakteristike (kritični naponi) mašinskih delova razlikuju se od statičkih karakteristika (kritičnih napona) standardne epruvete. Nastala razlika zavisi od stepena sličnosti oblika i dimenzija mašinskih delova i standardne epruvete, kao i od stepena plastičnosti materijala. **Mašinski deo sa izvorom koncentracije napona (sl.6) izrađen od elastoplastičnog materijala (meki čelik) i izložen statičkom zatežućem opterećenju ima približno iste statičke karakteristike kao i standardna epruveta, a dijagram zatezanja približno odgovara dijagramu prikazanom na slici 7:**

$$Re = Re_M,$$

gde je Re_M zatezna čvrstoća mašinskog dela.



Slika 6. Raspodela napona u elastičnoj oblasti (isprekidana linija) i u elastoplastičnoj oblasti (puna linija)



Slika 7. Dijagram zatezanja za epruvetu (isprekidana linija) i za mašinski deo (puna linija)

Sa porastom opterećenja raspodela napona u najopasnijem poprečnom preseku (koji je merodavan za proveru radnih sposobnosti) je neravnomerna – izrazito skokovita (isprekidana linija na sl. 6), sve dok vrhovi napona (σ_{\max}) ne dostignu granicu tečenja materijala (R_e). Kada se dostigne granica tečenja vrhovi napona se ne povećavaju. Sa porastom statičkog opterećenja manje angažovana vlakna uzimaju veće učešće u prenošenju opterećenja, što se odražava na ravnomerniju raspodelu napona po poprečnom preseku mašinskog dela (puna linija na sl. 6). Daljim povećanjem opterećenja raspodela napona postaje sve ravnomernija i sve više odgovara raspodeli kod standardne epruvete.

Mašinski delovi sa koncentracijom napona, izrađeni od materijala koji nema izraženu granicu tečenja, pod dejstvom statičkog zatežućeg opterećenja imaju neravnomernu raspodelu napona po poprečnom preseku (isprekidana linija na sl. 6) sve do razaranja (kidanja).

Mašinski deo se kida kada maksimalan napon (σ_{\max}) u kritičnom preseku dostigne granicu kidanja. Dijagram zatezanja mašinskog dela sa izvorom koncentracije napona (puna linija) i dijagram zatezanja epruvete (isprekidana linija) prikazani su na slici 6.

Zatezna čvrstoća mašinskog dela određena je odnosom najveće sile ostvarene tokom ispitivanja (F_m) i veličine poprečnog preseka:

$$Rm_M = \frac{F_m}{A},$$

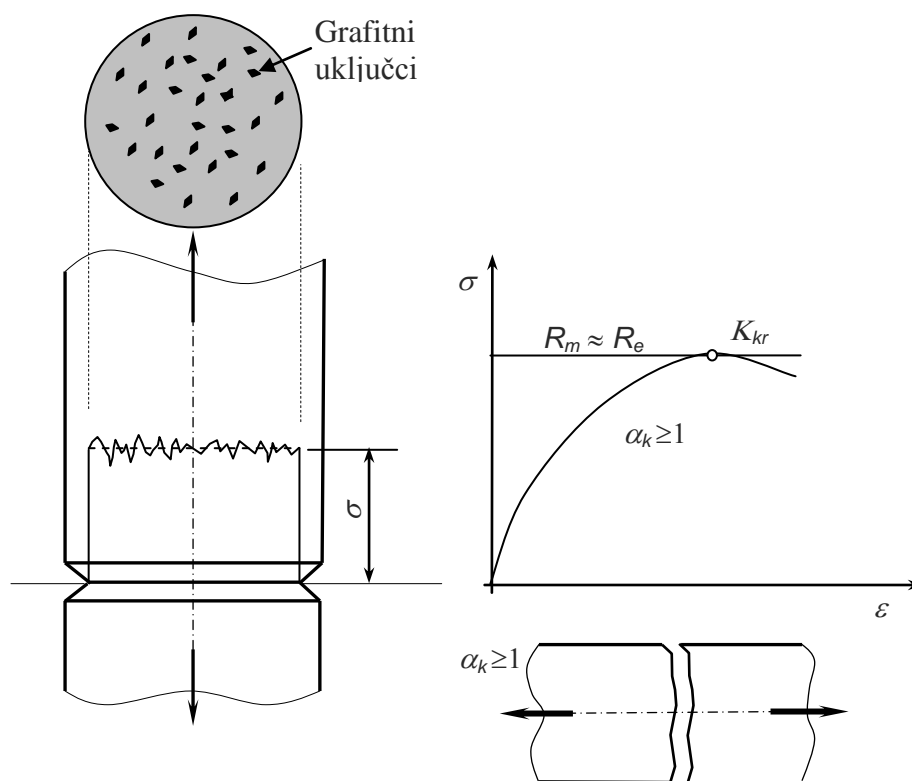
gde je A površina kritičnog poprečnog preseka.

Ovako određena zatezna čvrstoća mašinskog dela manja je od zatezne čvrstoće epruvete:

$$Rm_M = \frac{Rm}{\alpha_k},$$

gde je α_k **geometrijski (teorijski) faktor koncentracije napona** koji zavisi od oblika i geometrija (ρ/d ; d/D) izvora koncentracije napona, vrste naprezanja i važi za teorijski (idealni materijal).

Mehaničke karakteristike dobijene ispitivanjem mašinskih delova izrađenih od nehomogenih materijala pod dejstvom statičke zatežuće sile približno odgovaraju mehaničkim karakteristikama standardne epruvete, a dijagram zatezanja odgovara dijagramu prikazanom na slici 9.



Slika 9.

Ova sličnost u ponašanju mašinskih delova i standardne epruvete za nehomogene materijale pri statičkom ispitivanju posledica je neosetljivosti ovih materijala na promenu oblika poprečnog preseka usled postojanja unutrašnje nehomogenosti – unutrašnjih izvora koncentracije napona.