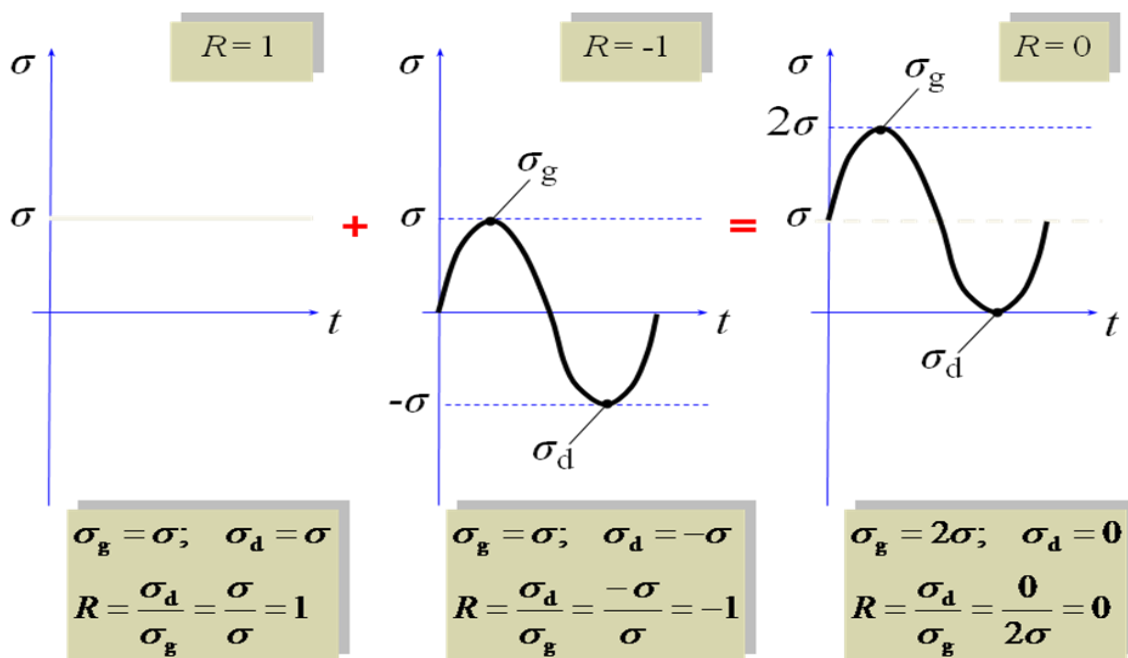


KRITIČNI NAPONI IZVRŠIOCA ELEMENTARNIH FUNKCIJA U USLOVIMA PROMENLJIVOG OPTEREĆENJA SA KONSTANTNIM AMPLITUDAMA

U pogledu karaktera promene radnog opterećenja tokom vremena, postoji **statičko** – mirno i **dinamičko** – promenljivo opterećenje. Opterećenje stalnog pravca, smera i intenziteta je statičko opterećenje sl.1. Dinamičko opterećenje se tokom vremena menja po intenzitetu, pravcu i smeru sl.2 i sl.3. Osnovne karakteristike dinamičkog opterećenja su: minimalna (donja) F_d i maksimalna (gornja) F_g vrednost, zatim amplituda opterećenja F_a i srednja vrednost opterećenja F_{sr} . Za opisivanje karaktera promene opterećenja tokom vremena, uveden je **faktor asimetrije**:

$$R = \frac{F_d}{F_g}.$$



Slika 1.

Slika 2.

Slika 3.

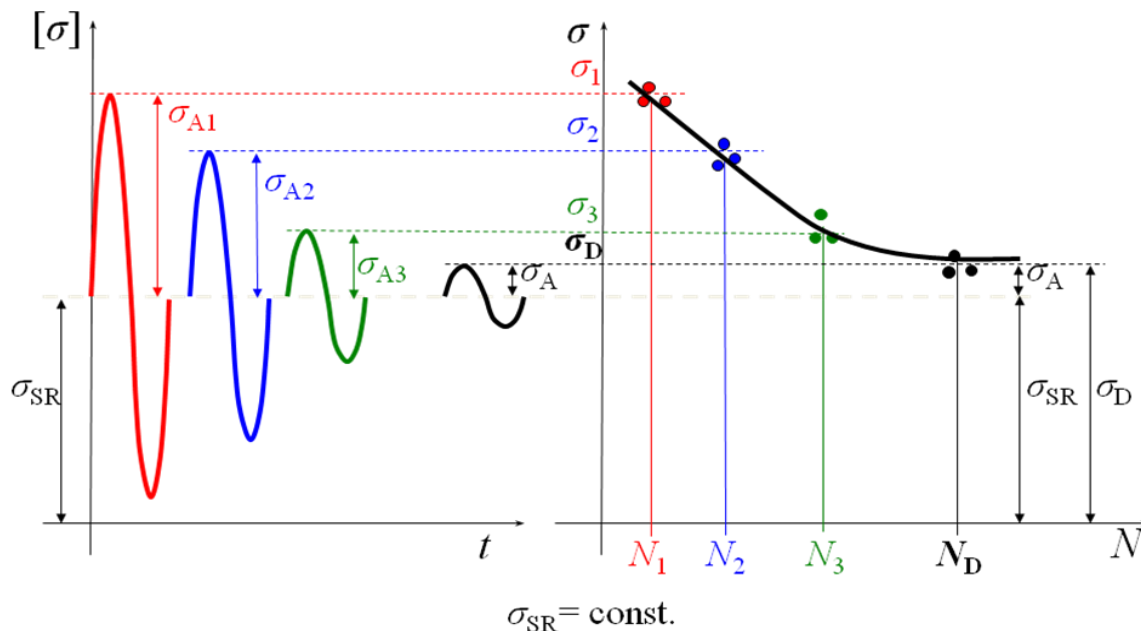
Kod statičkog opterećenja sl.1 faktor asimetrije jednak je jedinici, a kod osnovnog dinamičkog opterećenja sl.2 (čisto naizmenično promenljivo opterećenje $F_{sr}=0$), faktor asimetrije $R = -1$. Ostala promenljiva opterećenja nastaju superpozicijom osnovnog dinamičkog opterećenja i statičkog opterećenja. Pri tome, zavisno od intenziteta statičkog opterećenja i intenziteta amplitude osnovnog dinamičkog opterećenja, mogu se formirati različiti oblici promenljivog – dinamičkog opterećenja. Na sl.3 prikazano je jednosmerno promenljivo opterećenje nastalo superpozicijom statičkog opterećenja i dinamičkog čija amplituda ima vrednost statičkog opterećenja. Kod ovog dinamičkog opterećenja faktor asimetrije jednak je nuli ($R=0$).

DINAMIČKE KARAKTERISTIKE

Dinamičke karakteristike materijala ne zavise samo od veličine napona i načina njegove promene već i od broja promene napona – ciklusa. Imajući ovo u vidu, neophodno je



uspostaviti vezu između napona i broja ciklusa. Ova zavisnost utvrđuje se eksperimentalnim putem – dinamičkim ispitivanjima koja su dugotrajna i skupa. Ispitivane epruvete konstantnog poprečnog preseka (prečnika 7-10 mm), obrađene brušenjem, izlažu se promenljivom opterećenju.



Slika 4.

Za jedan nivo napona (σ_{N1}) ispituje se više epruveta (obično 10 komada) i registruje se broj ciklusa (N_1) pri kojem dolazi do loma. Dobijeni rezultati unose se u koordinatni sistem σ - N .

Kod drugog nivoa napona (σ_{N2}) zadržava se isti srednji napon a amplituda napona se smanjuje i ponovo se registruje broj promena napona (N_2) do loma. Ovaj postupak se nastavlja sve do napona σ_D , a to je najveći nominalni napon koji epruveta ispitivanog materijala može izdržati bez razaranja – dinamičkog loma pri neograničenom broju ciklusa.

Ovaj napon se naziva **trajna dinamička čvrstoća** ili **dinamička izdržljivost** i jednak je zbiru srednjeg napona (σ_{SR} , τ_{SR}) i amplitude dinamičke čvrstoće (σ_A , τ_A):

$$\sigma_D = \sigma_{SR} + \sigma_A$$

$$\tau_D = \tau_{SR} + \tau_A$$

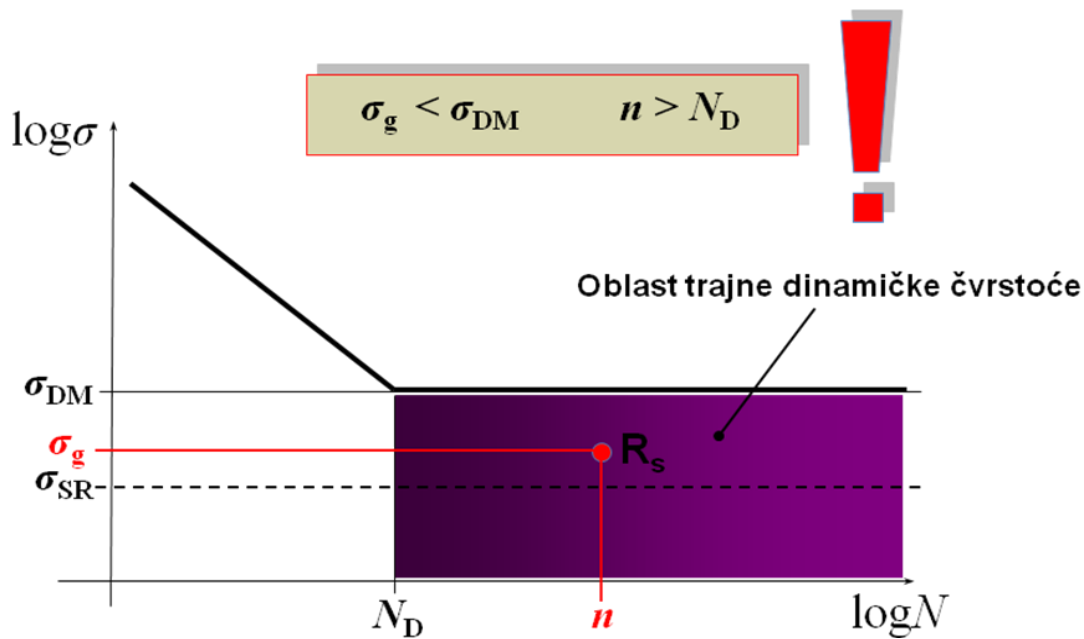
Broj ciklusa N_D naziva se granični broj ciklusa i za konstrukcione čelike iznosi $10 \cdot 10^6$. Spajanjem dobijenih tačaka u koordinatnom sistemu σ - N dobija se kriva zamaranja – Velerova kriva, prikazana na slici sl.5. Velerova kriva može se analitički prikazati u obliku:

$$\sigma_N^m \cdot N = \text{const.},$$

gde je

m – eksponent Velerove krive.

Za crtanje Velerove krive u koordinatnom sistemu σ - N , potrebno je poznavati veliki broj tačaka koje se dobijaju ispitivanjem. Ista zavisnost u logaritamskom koordinatnom sistemu ($\log \sigma - \log N$) ima oblik prave linije, dijagram na sl.5. Na ovaj način broj ispitivanja za prikazivanje Velerove krive je znatno smanjen.



Slika 5.

Na osnovu rezultata ispitivanja, koordinata dve tačke na Velerovoj krivoj i analitičkog izraza za Velerovu krivu može se odrediti eksponent Velerove krive:

$$m = \frac{\log\left(\frac{N_2}{N_1}\right)}{\log\left(\frac{\sigma_{N1}}{\sigma_{N2}}\right)}$$

U zavisnosti od načina promene promenljivog opterećenja sl.2 i sl.3, koje deluju na epruvetu tokom ispitivanja, mogu se dobiti sledeće dinamičke čvrstoće:

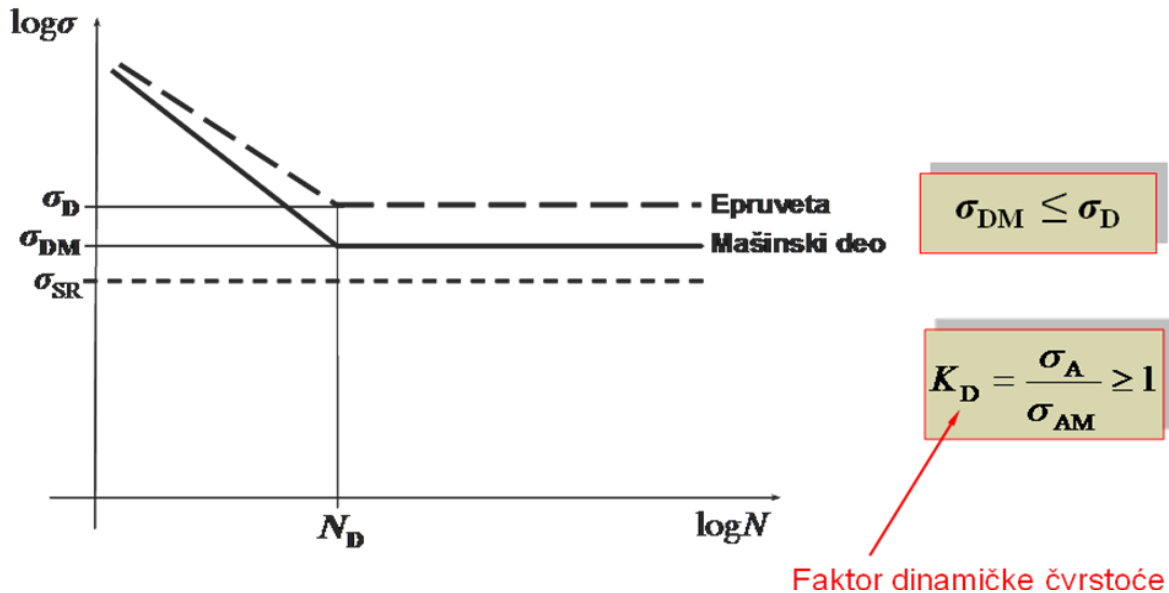
$\sigma_{D(0)}, \tau_{D(0)}$ – trajna dinamička čvrstoća pri jednosmernom opterećenju,
 $\sigma_{D(-1)}, \tau_{D(-1)}$ – trajna dinamička čvrstoća pri naizmeničnom opterećenju.

Velerova kriva prikazana na slici 4 odnosi se na jedan određeni srednji napon. Za neki drugi srednji napon Velerova kriva će imati sličan tok, ali različite numeričke vrednosti trajne dinamičke čvrstoće. Prema tome, svakom srednjem naponu odgovara određena dinamička čvrstoća i Velerova kriva. Za inženjersku praksu veliki broj Velerovih dijagrama (svakom srednjem naponu odgovara jedna kriva) nije praktičan, pa se iz tih razloga daje sledeća funkcionalna zavisnost:

$$\sigma_D = f(\sigma_{SR})$$

u vidu Smitovog dijagrama sl.7, sl.8, sl.9. Za crtanje Smitovog dijagrama potrebne su tri karakteristike materijala, dve dinamičke ($\sigma_{D(0)}$ i $\sigma_{D(-1)}$) i jedna statička – napon na granici tečenja. Na osnovu dijagrama prikazanog na sl.4 može se odrediti dinamička čvrstoća epruvete za svaki srednji napon.

Postupak ispitivanja dinamičkih karakteristika mašinskih delova je isti kao kod ispitivanja standardnih epruveta. Rezultati ispitivanja prikazuju se Velerovom krivom i Smitovim dijagramom. Na sl.6 prikazana je Velerova kriva za mašinski deo (puna linija) i za epruvetu (isprekidana linija).



Slika 6.

Dinamička čvrstoća mašinskog dela manja je od dinamičke čvrstoće epruvete. Količnikom amplitude dinamičke čvrstoće epruvete (σ_A) i mašinskog dela (σ_{AM}) definisan je **faktor dinamičke čvrstoće**:

$$K_D = \frac{\sigma_A}{\sigma_{AM}} \geq 1,$$

koji se približno može odrediti na osnovu izraza:

$$K_D \approx \frac{\beta_k}{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3} = \frac{(\alpha_k - 1)\eta_k + 1}{\xi_1 \cdot \xi_2 \cdot \xi_3},$$

gde su:

η_k – faktor osetljivosti materijala na koncentraciju napona,

ξ_1 – faktor veličine poprečnog preseka,

ξ_2 – faktor stanja površine,

ξ_3 – faktor koji uzima u obzir ostale uticaje (termička obrada, radna sredina...).

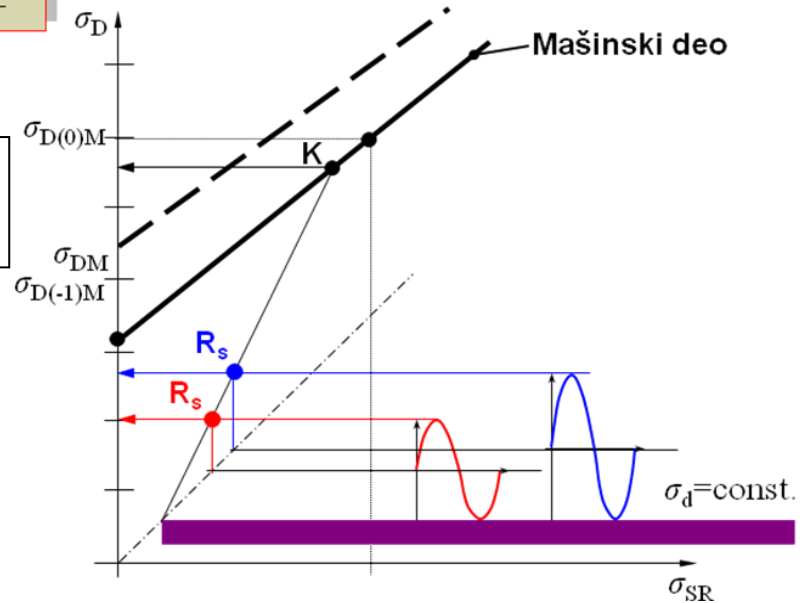
Svi ovi faktori određuju se eksperimentalnim putem.

Eksperimentalna istraživanja pokazala su da svi materijali nisu podjednako osetljivi na koncentraciju napona. **Najkvalitetniji materijali su najosetljiviji, elastoplastični materijali su manje osetljivi, a nehomogeni materijali su najmanje osetljivi na koncentraciju napona.** Za praktičnu primenu crta se **Smitov dijagram** za mašinski deo na osnovu tri eksperimentalno određene karakteristike, dve dinamičke ($\sigma_{D(0)M}$ i $\sigma_{D(-1)M}$) i jedne statičke (σ_{TM}). **Na osnovu Smitovog dijagrama može se odrediti dinamička čvrstoća mašinskog dela za svaki srednji napon.**

Smith-ov diagram – $\sigma_d = \text{const.}$

$$S_D = \frac{\sigma_{DM}}{\sigma_g}$$

$$\sigma_{DM} = \frac{2\sigma_{D(-)M} + \sigma_d \cdot \operatorname{tg} \alpha_M}{2 - \operatorname{tg} \alpha_M}$$



Slika 9.

Izraz za određivanje ugla nagiba linearnog dela Smitovog dijagrama mašinskog dela α_M :

$$\operatorname{tg} \alpha_M = 1 + \left(1 - 2 \frac{\sigma_{D(-1)}}{\sigma_{D(0)}} \right) \frac{1}{K_D}.$$

Ugao nagiba linije promene radnog napona:

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_g} = \frac{R_\sigma + 1}{2}.$$