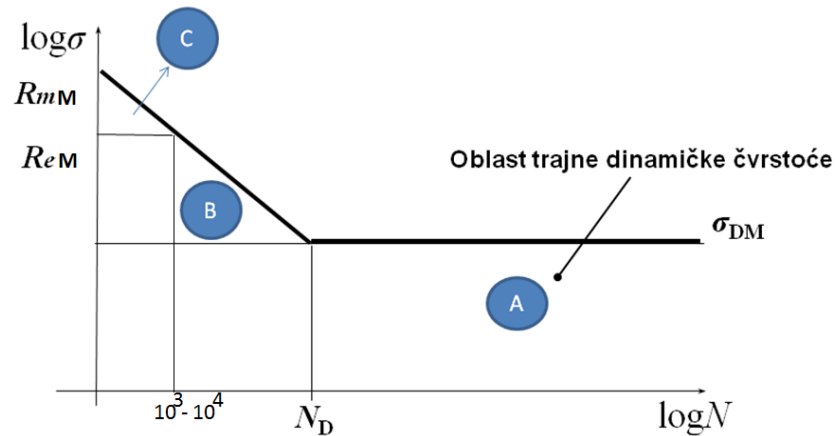


PRORAČUN IZVRŠIOCA ELEMENTARNIH FUNKCIJA SA ASPEKTA RADNOG VEKA

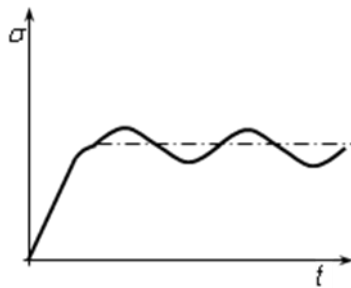
Savremene mašinske konstrukcije sve više se zamenjuju novim konstrukcionim rešenjem zbog tehničke zastarelosti, a ne zbog fizičke dotrajalosti. U idealnom slučaju, sa ekonomskog aspekta mašinske konstrukcije treba konstruisati tako da se vek koji odgovara fizičkoj dotrajalosti poklopi sa vekom koji odgovara tehničkoj zastarelosti. U tom cilju, dimenzije i oblici izvršioca elementarnih funkcija sve više se definišu u oblasti vremenski ograničene čvrstoće (oblasti B i C), a ne u oblasti trajne čvrstoće (oblast A) na Velerovom dijagramu.



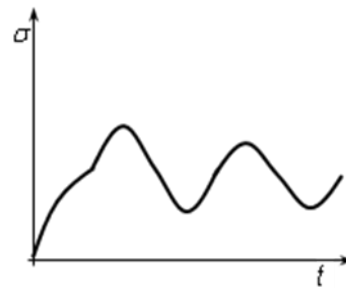
Slika 1.

Radni vek izvršioca elementarnih funkcija u oblasti B zavisi od karaktera promene amplitudnog radnog napona:

- amplituda radnog napona ima stalni intenzitet (slika 2)
- amplituda radnog napona ima promenljiv intenzitet (slika 3)

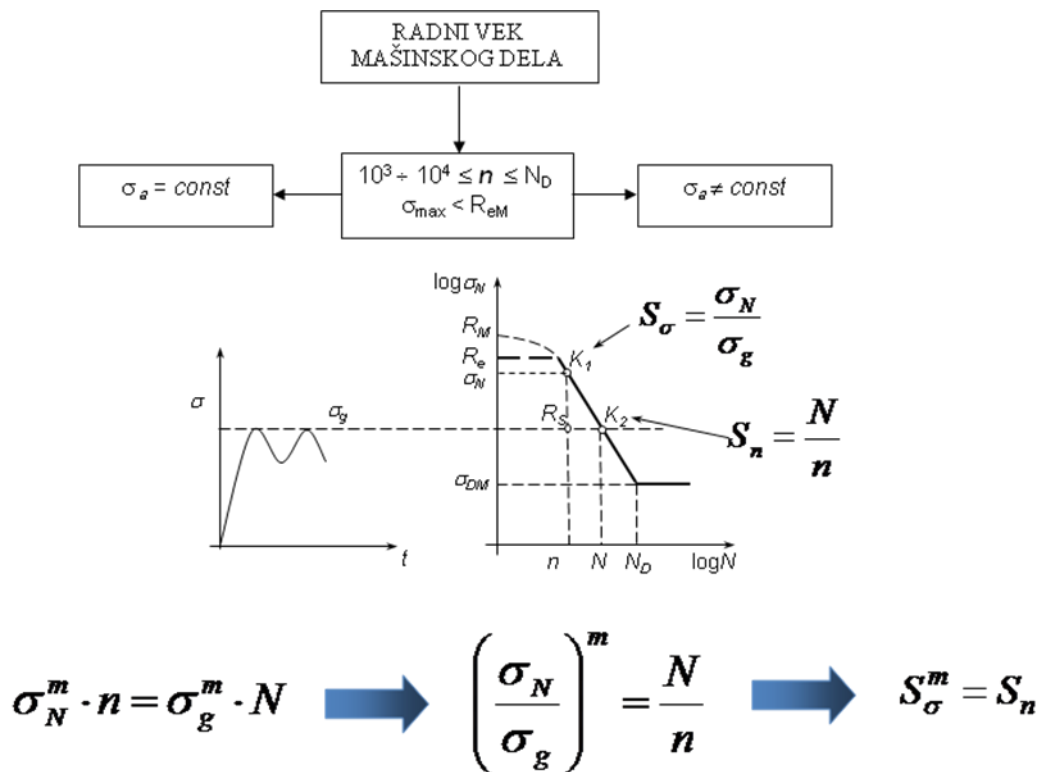


Slika 2.



Slika 3.

RADNI VEK MAŠINSKIH DELOVA KADA JE $\sigma_A = \text{const}$



Slika 4.

RADNI VEK MAŠINSKIH DELOVA KADA JE $\sigma_A \neq \text{const}$

Ponašanje mašinskih delova u uslovima promenljivog opterećenja sa konstantnim amplitudama dovoljno je proučeno zahvaljujući relativno jednostavnom reprodukovanju ovog opterećenja u laboratorijskim uslovima. Malo je mašinskih delova koji su u radnom veku izloženi radnom opterećenju sa konstantnim amplitudama. Tok promene radnog opterećenja diktiran je promenom otpora koji savlađuje radna mašina vršeći koristan rad. Otpori koje savlađuje avion, brod, motorno vozilo, bager itd. imaju slučajni karakter promene, što uslovljava slučajni karakter promene radnog napona (radnog opterećenja) mašinskih delova.

Određivanje dinamičkih karakteristika merodavnih za proveru radne sposobnosti mašinskih delova nalaže reprodukovanje slučajnog karaktera radnog opterećenja u laboratorijskim uslovima, što je veoma teško ostvariti i ekonomski opravdati. U takvoj situaciji rešenje se našlo u uređenoj prezentaciji slučajnog toka posredstvom spektra opterećenja ili napona. Na osnovu snimljenog slučajnog toka – funkcije $F(t)$ ili $\sigma(t)$ registruju se različiti nivoi napona (n_i) za veličinu spektra, $n_s = 10^5$. Na osnovu ovih podataka dobija se stepenast dijagram spektra napona sl. 5.

Prikazan spektar napona se pri ispitivanju mašinskih delova ponavlja sve do loma. Tokom ispitivanja registruje se ukupan broj promena svih napona:

$$N_R = Z \cdot n_s; \quad Z \geq 1,$$

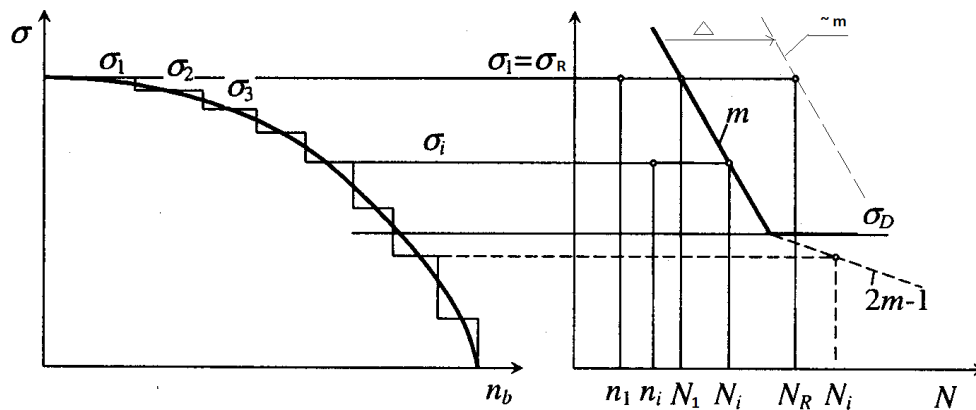
pri kojem dolazi do razaranja – loma ispitivanog uzorka. Najveći napon u spektru (σ_1) proglašava se **radnom dinamičkom čvrstoćom** ($\sigma_1 = \sigma_R$) a broj ciklusa N_R predstavlja **radni vek** za radne uslove (opterećenje – napon) koji su reprodukovani u laboratorijskim uslovima stepenastim spektrom napona.

Varijacijom najvećeg napona u spektru (σ_1), zadržavajući pri tome isti odnos napona u stepenicama kao u početnom spektru:

$$x_i = \frac{\sigma_i}{\sigma_1} = \text{const.}; \quad i = 1 \dots k,$$

k – broj stepenica, dolazi se do **krive radne čvrstoće**, sl.5 – puna linija.

Ako bi se sprovedla ispitivanja pri konstantnim amplitudama napona do razaranja, za svaki nivo napona u stepenastom spektru napona dobila bi se Velerova kriva (isprekidana linija na sl.5). Kriva radne čvrstoće pomena je translatorno, za veličinu Δ , u odnosu na Velerovu krivu. Veličina translacije zavisi od intenziteta i učešća velikih napona u spektru napona. Što je intenzitet i učešće ovih napona u spektru napona veće, rastojanje Δ između Velerove krive i krive radne čvrstoće je sve manje.



Slika 5.

Postupak eksperimentalnog određenog radnog veka i radne dinamičke čvrstoće nije našao potpunu ekonomsku opravdanost kako zbog velikog broja različitih mašinskih delova, tako i zbog velikog broja različitih radnih uslova (različite funkcije $F(t)$ i $\sigma(t)$ kod istih mašinskih delova sl.5. Imajući u vidu ove činjenice i veliku potrebu za što preciznijim određivanjem radnog veka (broja ciklusa N_R) mašinskih delova u radnim uslovima, pristupilo se iznalaženju načina za određivanje radnog veka na osnovu rezultata ispitivanja sa konstantnim amplitudama, tj. na osnovu Velerove krive. Pionirski korak u ovom pravcu napravio je švedski inženjer Palmgren (1924) ispitujući radni vek kotrljajućih ležaja. **Osnovna ideja zasnovana je na pretpostavci da svaki napon σ_i iz spektra napona izaziva parcijalnu količinu oštećenja, u vidu zamora, koja je srazmerna odnosu broja ciklusa:**

$$\frac{n_i}{N_i},$$

gde su

n_i – broj promena napona u i -toj stepenici,

N_i – broj promena napona do loma pri konstantim amplitudama napona (na osnovu Velerove krive).

Do razaranja – loma dolazi kada zbir parcijalnih oštećenja:

$$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \dots + \frac{n_k}{N_k},$$

dostigne kritičnu vrednost, tj. kada se ispuni sledeći uslov:

$$\sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i}{N_i} \right) = 1.$$

Na osnovu ovog uslova i činjenice da je kriva radne dinamičke čvrstoće približno paralelna sa Velerovom krivom, može se odrediti broj ciklusa N_R , tj. radni vek mašinskog dela poznavajući parametre spektra radnog napona (σ_i , n_i , n_s) i veličine (N_1 , m) iz Velerove krive, prema sledećem izrazu:

$$N_R = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\sigma_i}{\sigma_1} \right)^m \cdot \left(\frac{n_i}{n_s} \right)}.$$

Ovaj izraz je dobijen pod pretpostavkom da naponi manji od trajne dinamičke čvrstoće ne utiču na razaranja (zamor) mašinskih delova.

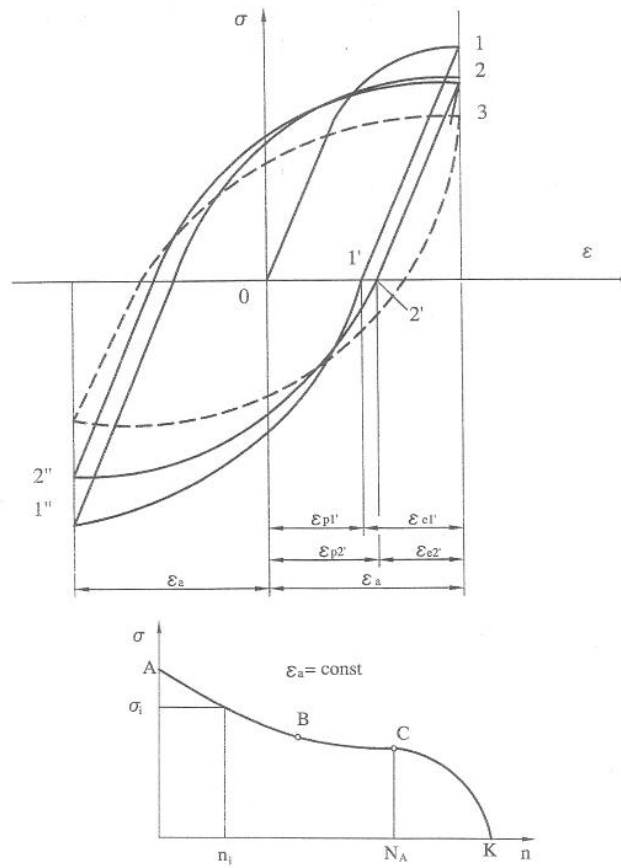
RADNI VEK MAŠINSKIH DELOVA U OBLASTI C (sl.1)

Proračuni mašinskih delova proučeni u predmetu mašinski elementi zasnovani su na pretpostavci da u svakom vlaknu mašinskog dela vladaju elastične deformacije. Ova pretpostavka u slučaju neravnomerne raspodele napona po poprečnom preseku mašinskih delova zbog izvora koncentracije napona iziskuje mašinske delove velikih poprečnih dimenzija, odnosno velike mase. Da bi se ovaj problem prevazišao, najnovija istraživanja su pokazala da se kod najopterećenijih vlakana mašinskih delova mogu dozvoliti male plastične deformacije, ako tokom radnog veka broj promena napona nije veći od 10^4 ciklusa. Pri tome radna sposobnost mašinskog dela nije narušena pošto on kao celina ostaje u oblasti elastičnosti. Kritične karakteristike materijala u elasto-plastičnoj oblasti merodavne za procenu radne sposobnosti mašinskih delova dobijaju se eksperimentalnim putem. Ispitivanje se sprovodi pri konstantnim amplitudama deformacije (ε_a). Tokom ispitivanja registruje se (crta) dijagram zavisnosti između napona i deformacije u elastoplastičnoj oblasti. Dobijene krive nazivaju se **histereze** (linije 011'1''2–2'2''3...).

Kako proces razaranja (zamaranja) materijala napreduje usled transformacije elastičnih deformacija (ε_{el}) u plastične (ε_{pl}) razlika vrhova napona između susednih histereza postaje sve manja i manja, dok ne postane zanemarljivo mala, što odgovara zatvorenoj histerezi.

Tokom ispitivanja registruju se vrhovi napona (σ_i) svake histereze i odgovarajući broj promena – ciklusa (n_i). Na osnovu ovih podataka prikazuje se zavisnost $\sigma_i = f(n_i)$.

Dobijena kriva opisuje ponašanje materijala tokom zamaranja. Proces zamaranja (razaranja) materijala u oblasti AB znatno napreduje, u oblasti BC ima blagi tok, dok u oblasti CK ima nagli porast. Ovaj nagli porast razaranja objašnjava se pojavom prsline u materijalu (u tački C toka krive zamaranja), koja brzo dovodi do totalnog razaranja-loma (tačka K na dijagramu). Na osnovu prikazane zavisnosti sledi da pojava prsline odgovara prevojnoj tački (tačka C) krive toka zamaranja. Broj ciklusa N_A pri kojem se formira prsline veoma je važna karakteristika koja se koristi za procenu radnog veka mašinskih delova i sklopova.



Slika 6.