

Dinamična trdnost

Strojni elementi 1

Gradivo za vaje

Pripravili: dr. Miha Janežič, univ. dipl. inž.
i.prof. dr. Jernej Klemenc, univ. dipl. inž.
dr. Andrej Wagner, univ. dipl. inž.

Kazalo

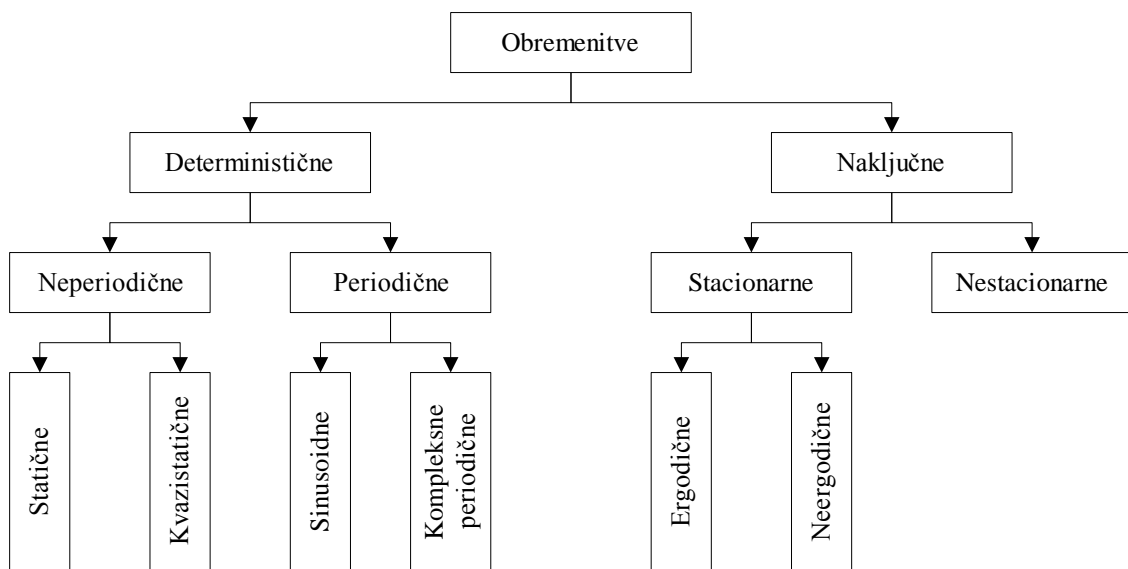
1. Osnove določevanja nosilnosti materialov.....	3
1.1 Razdelitev mehanskih obremenitev	3
1.2 Določanje nosilnosti materiala za različne vrste obremenitev.....	3
2. Postopek določanja Wöhlerjevih krivulj.....	5
2.1 Določitev Wöhlerjeve krivulje za 50% verjetnost porušitve	5
2.2 Določitev Wöhlerjeve krivulje za 10% verjetnost porušitve	7
2.3 Vpliv zareze na dobo trajanja	7
3. Literatura	8

1. Osnove določevanja nosilnosti materialov

1.1 Razdelitev mehanskih obremenitev

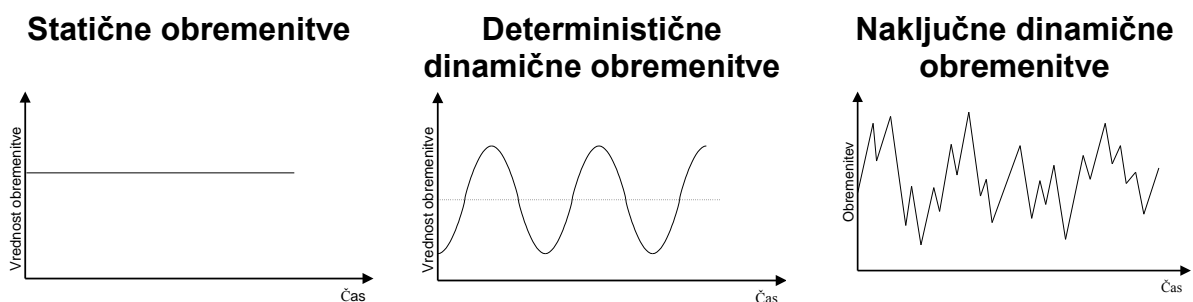
Deterministične obremenitve so tiste pri katerih lahko za vsak trenutek časa s 100% gotovostjo povemo kakšna je obremenitev.

Naključne obremenitve so tiste pri katerih lahko z določeno verjetnostjo P napovemo kakšna bo obremenitev v določenem trenutku.



Stacionarne obremenitve so vrsta naključnih obremenitev, za katere velja, da so vrednosti statističnih parametrov v nekem obdobju konstantne. Stacionarne obremenitve imajo dve podskupini: ergodične in neergodične.

Ergodične obremenitve so tiste za katere velja, da je povprečna vrednost obremenitve po času enaka povprečni vrednosti obremenitve po naboru vzorcev.



1.2 Določanje nosilnosti materiala za različne vrste obremenitev

Nosilnost materiala ni odvisna le od snovnih lastnosti materiala temveč tudi od vrste (mehanske) obremenitve s katero je element obremenjen. Zato se nosilnost materiala določa za vsako vrsto obremenitev posebej.

Za **statične obremenitve** določamo natezno trdnosti z nateznim preizkusom.

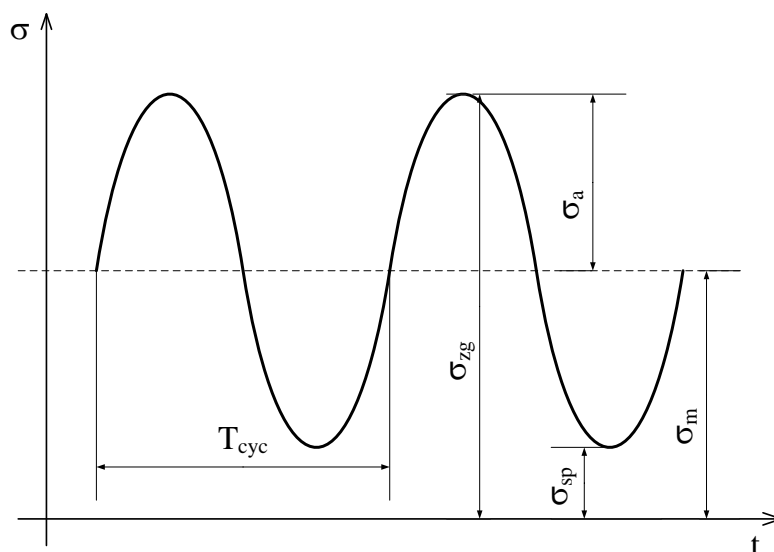
Če material **obremenjujemo dinamično**, se obnaša drugače kot pri statični obremenitvi. Zato ne moremo pri dimenzioniranju ravnati tako kot pri statični obremenitvi, temveč moramo uporabiti nove metode. Definiramo časovno dinamično trdnost in trajno dinamično trdnost materiala (glej Sl. 1-2).

Časovna dinamična trdnost je tista napetost v materialu, ki jo material zdrži pri določenem številu nihajev obremenitve. Trajna dinamična trdnost materiala je tista napetost v materialu, ki jo material zdrži pri neskončno veliko nihajih obremenitve. Število nihajev seveda nikoli ne doseže neskončnosti, zato definiramo tehnično mejo neskončnega števila nihajev, ki je med 10^6 in 10^7 nihajev. Torej je **trajna dinamična trdnost** materiala tista napetost, ki jo material zdrži pri 10^7 nihajih obremenitve. Trajna dinamična trdnost je odvisna od vrste dinamične obremenitve.

Za **deterministične dinamične obremenitve** določamo časovne ali trajno dinamične trdnosti z Wöhlerjevimi preizkusi.

V primeru **naključnih dinamičnih obremenitev** določamo obratovalne trdnosti z blokovnimi preizkusi ali s preizkusi z naključnim zaporedjem obremenjevanja.

Pri določevanju Wöhlerjeve krivulje sloni težišče problema na določitvi krivulje časovne trdnosti. V ta namen se izvaja serija preizkusov na dveh ali več napetostnih nivojih $\sigma_1, \sigma_2, \dots$. Iz raztrosa rezultatov dobe trajanja preizkušanca na določenem napetostnem nivoju, se določi točke, skozi katere potekajo Wöhlerjeve krivulje za različne verjetnosti porušitve. Raztros rezultatov se opiše z različnimi statističnimi metodami (Gauss, Weibull, ...).



$$R = \frac{\sigma_{sp}}{\sigma_{zg}} ; -\infty \leq R \leq 1;$$

$$\sigma_m = \text{konst.}$$

$$R = \text{konst.}$$

$$\sigma_a = \text{konst.}$$

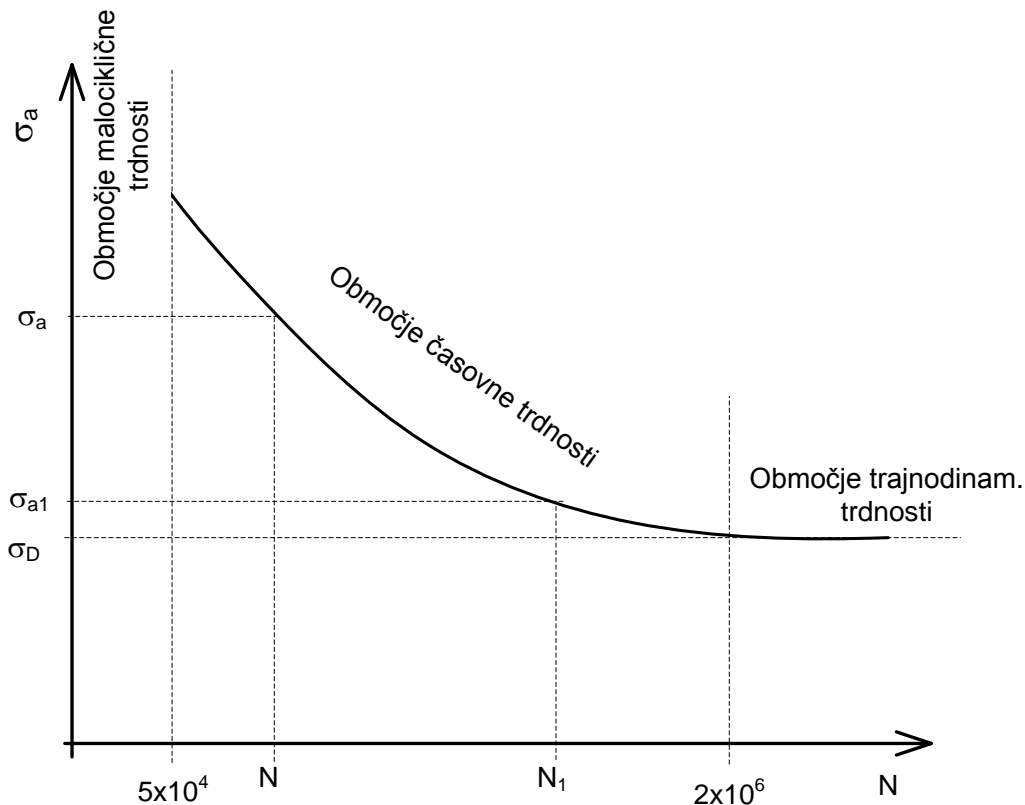
Sl. 1-1: Osnove Wöhlerjevega preizkusa

Wöhlerjeva krivulja na področju časovne trdnosti je eksponentna:

$$\frac{N}{N_1} = \left(\frac{\sigma_a}{\sigma_{a1}} \right)^{-k}, \quad (1)$$

kjer je N število nihajev do porušitve pri napetosti σ_a , N_1 število nihajev do porušitve pri napetosti σ_{a1} in k eksponent Wöhlerjeve krivulje.

Meje malo-ciklične trdnosti σ_{MCT} in trajno-dinamične trdnosti σ_D se določi glede na število nihajev, ki omejujejo določeno območje ($N_{MCT} < 5 \cdot 10^4$ za malo-ciklično trdnost in $N_D > 2 \cdot 10^6$ za trajno-dinamično trdnost).



Sl. 1-2: Primer Wöhlerjeve krivulje

2. Postopek določanja Wöhlerjevih krivulj

Wöhlerjevo krivuljo določamo tako, da si izberemo napetostni nivo, pri katerem najprej obremenjujemo preizkušanece σ_{a1} . Merimo število ponovitev obremenitve pri katerem pride do porušitve preizkušancea N_f . Ker je raztros rezultatov pri preizkušanju dinamične trdnosti materiala zelo velik, moramo opraviti čimveč poskusov, če želimo da je naša meritev dokaj natančna. Po preizkušanju iz rezultatov določimo parametre statistične porazdelitve (Srednja vrednost, Gauss, Weibull,...).

2.1 Določitev Wöhlerjeve krivulje za 50% verjetnost porušitve

Točko Wöhlerjeve krivulje za prvi napetostni nivo pri 50% verjetnosti porušitve predstavlja povprečna vrednost ponovitev obremenitve do porušitve $N_{1(50\%)}$ (glej enačbo (2)) in napetost preizkušanja σ_{a1} . Enak postopek ponovimo še na drugem napetostnem nivoju (glej enačbo (3)), s čemer dobimo točko $(N_{2(50\%)}, \sigma_{a2})$.

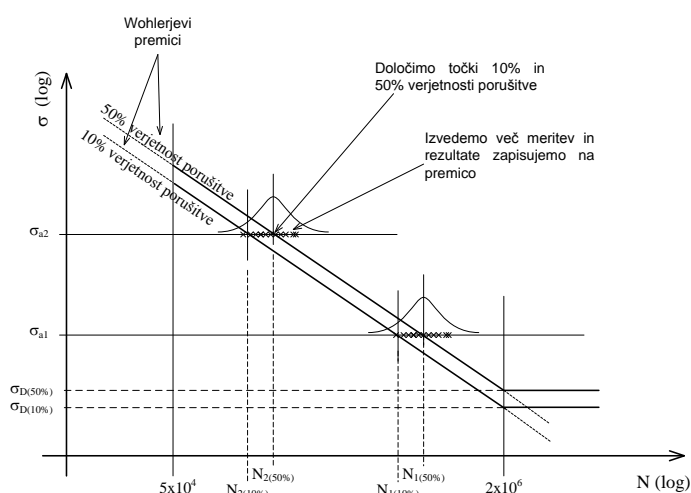
$$N_{1(50\%)} = \frac{1}{n_1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} N_{1,i} \quad (2)$$

$$N_{2(50\%)} = \frac{1}{n_2} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} N_{2,i} \quad (3)$$

Če enačbo Wöhlerjeve krivulje (1) logaritmiramo, dobimo izraz:

$$\log(\sigma_a) = -\frac{1}{k} \log(N) + \left[\frac{1}{k} \log(N_1) + \log(\sigma_{a1}) \right], \quad (4)$$

ki predstavlja premico v σ - N diagramu z logaritmskima osema. Dobljeni točki $(N_{1(50\%)}, \sigma_{a1})$ in $(N_{2(50\%)}, \sigma_{a2})$ vrišemo v diagram z logaritmskima osema (glej sliko Sl. 2-1) in skozi njiju potegnemo premico, ki predstavlja Wöhlerjevo premico za 50% verjetnost porušitve.



Sl. 2-1: Postopek določanja Wöhlerjevih krivulj

Prosti parameter Wöhlerjeve krivulje (1) k določimo z enačbo, ki jo dobimo z logaritmiranjem in preureditvijo enačbe (1):

$$k_{(50\%)} = -\frac{\ln(N_{2(50\%)} / N_{1(50\%)})}{\ln(\sigma_{a2} / \sigma_{a1})}. \quad (5)$$

Trajno dinamično trdnost določimo ob predpostavki, da je mejna življenjska doba, katere nivo lahko smatramo za trajno dinamično trdnost, neka končna vrednost, običajno od $2 \cdot 10^6$ do $1 \cdot 10^7$. Tako za določitev trajne dinamične trdnosti lahko uporabimo linearno ekstrapolacijo v logaritmiranem prostoru, kot je to prikazano na Sl. 2-1. Analitično izračunamo trajno-dinamično trdnost σ_D z enačbo, ki jo dobimo s preureditvijo osnovne Wöhlerjeve enačbe (1):

$$\sigma_{D(50\%)} = \sigma_{a1} \cdot \left(\frac{N_D}{N_{1(50\%)}} \right)^{-\frac{1}{k}}. \quad (6)$$

2.2 Določitev Wöhlerjeve krivulje za 10% verjetnost porušitve

Wöhlerjeva krivulja za 50% porušitev predstavlja časovno trdnost materiala pod katero pride do porušitve polovice preizkušancev. V praksi navadno želimo določiti mejo do katere se bo porušil določen, navadno manjši, delež preizkušancev, zato moramo določiti Wöhlerjevo krivuljo za ustrezno verjetnost porušitve.

Če predpostavimo, da število nihajev do porušitve sledi normalni porazdelitvi, določimo število nihajev do porušitve na posameznem napetostnem nivoju pri 10% verjetnosti porušitve z enačbama [4]:

$$N_{1(10\%)} = N_{1(50\%)} - 1.28 \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_1} (N_{1,i} - N_{1(50\%)})^2} \quad (7)$$

$$N_{2(10\%)} = N_{2(50\%)} - 1.28 \cdot \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_2} (N_{2,i} - N_{2(50\%)})^2} \quad (8)$$

Prosti parameter k in trajno dinamično trdnost za 10% verjetnost porušitve določimo po podobnem postopku kot pri 50% verjetnosti porušitve:

$$k_{(10\%)} = - \frac{\ln(N_{2(10\%)} / N_{1(10\%)})}{\ln(\sigma_{a2} / \sigma_{a1})} \quad (9)$$

$$\sigma_{D(10\%)} = \sigma_{a1} \cdot \left(\frac{N_D}{N_{1(10\%)}} \right)^{-\frac{1}{k}} \quad (10)$$

Skozi točki $(N_{1(10\%)}, \sigma_{a1})$ in $(N_{2(10\%)}, \sigma_{a2})$ na grafu z logaritemskima osema narišemo premico, ki predstavlja Wöhlerjevo krivuljo za 10% verjetnost porušitve.

2.3 Vpliv zarez na dobo trajanja

V prerezu, kjer je na preizkušancu B izdelana zarez, se pojavi koncentracija napetosti, zaradi česar se preizkušanec z zarez poruši pri manjšem številu nihajev kot preizkušanec brez zarez. Posledično ima preizkušanec z zarez nižjo trajno dinamično trdnost. Relativni vpliv zarez na dobo trajanja preizkušanca pri 10% verjetnosti porušitve določimo z izrazoma:

$$\beta_{1(10\%)} = \frac{N_{1(10\%),A}}{N_{1(10\%),B}} \quad (11)$$

$$\beta_{2(10\%)} = \frac{N_{2(10\%),A}}{N_{2(10\%),B}} \quad (12)$$

3. Literatura

- [1] Matek, W., Muhs, D., Wittel, H., Becker, M., Voßiek, J.: Rollof/Matek: Maschinenelemente, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2005.
- [2] Niemann, G., Winter, H., Hohn, B.-R.: Maschinenelemente, Band 1, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2005.
- [3] Haberhauer, H., Bodenstern, F.: Maschinenelemente-Gestaltung, Berechnung, Anwendung, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001.
- [4] Steinhilper, W., Sauer, B.: Konstruktionselemente des Maschinenbaus 1, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012
- [5] Rice J A. Mathematical statistics and data analysis. Belmont, CA: Wadsworth, 1998.