

Nauka o čvrstoći proučava ravnotežu između vanjskih i unutarnjih sila i deformacije čvrstih tijela uzrokovanih vanjskim silama. Na osnovu ovih odnosa određuju se dimenzije i oblik tijela.

OPTEREĆENJA

Djelovanje vanjskih sila i momenata na neko tijelo predstavlja opterećenje tog tijela. Opterećenje može biti:

- silama: koncentriranim kontinuirano raspoređenim ili kombinirano i koncentriranim i kontinuirano raspoređenim,
- momentima savijanja i uvijanja izazvanim djelovanjem odgovarajućih sila.

Obzirom na smjer djelovanja vanjskih sila razlikujemo:

- opterećenje na vlak,
- opterećenje na tlak,
- opterećenje na smicanje,
- opterećenje na savijanje,
- opterećenje na uvijanje,
- opterećenje na izvijanje.

Prema vremenu trajanja opterećenja razlikujemo:

- trajno opterećenje,
- povremeno opterećenje.

Prema karakteru djelovanja opterećenja se mogu podijeliti na:

- statičko opterećenje,
- dinamičko opterećenje,
- periodičko opterećenje.

NAPREZANJA

Kao posljedica djelovanja vanjskih opterećenja na čvrsto tijelo nastaje promjena njegovog oblika tj. ono se deformira, pri čemu se unutar njegove strukture pojavljuju unutarnje sile, koje će nastojati spriječiti deformaciju. U nekom promatranom presjeku tijela unutarnja sila F može se rastaviti na normalnu komponentu F_n i tangencijalnu komponentu F_t u tom presjeku. Ove unutarnje sile svedene na jedinicu površine presjeka nazivaju se naprezanja. Oznake za naprezanja su σ i τ , gdje σ predstavlja normalno naprezanje, a τ tangencijalno naprezanje, te

vrijede odnosi $\sigma = \frac{F_n}{A}$ $\tau = \frac{F_t}{A}$

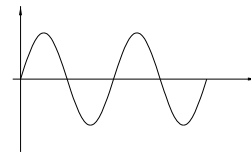
Bilo koje stanje naprezanja može se svesti na sustav normalnih i tangencijalnih komponenata naprezanja, te se stoga smatraju osnovnim oblicima naprezanja.

Tri osnovna pojma iz “**Nauke o čvrstoći**”:

1. **OPTEREĆENJE** strojnog dijela može biti izazvano:
- i **SILAMA** – oznaka u SI sistemu – **F [N]**
 - ii **MOMENTIMA** - savijanja – oznaka – **M [J=**
- uvijanja (torzije) “ - **T =Nm]**

Vrste po načinu djelovanja:

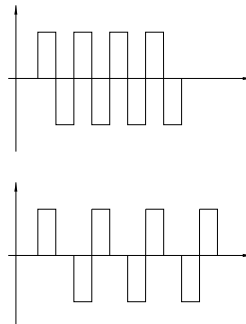
- a) mirna ili statička opterećenja
- b) promjenljiva ili dinamička opterećenja koja mogu biti



- **ciklička**

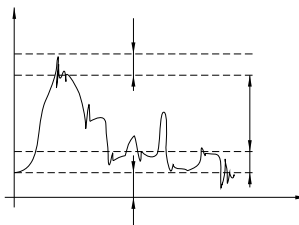
Pravilna promjena opterećenja – sinusoidalne promjene se u ciklusima ponavljaju.

- **udarna**



Nagle promjene opterećenja.

- **stohastična**



Promjene opterećenja se pojavljuju bez ikakvih pravilnosti.

2. NAPREZANJE

Opterećenja strojnog dijela izazivaju u materijalu tog opterećenog strojnog dijela – naprezanja.

Promatrano prema bilo kojem presjeku strojnog dijela naprezanja mogu općenito biti – normalna i tangencijalna.

Prema načinu opterećenja strojnog dijela razlikujemo:

- vlačna i tlačna naprezanja $\sigma = \frac{F}{A} [N/mm^2] [Pa]$
- savojna naprezanja (naprezanja na savijanje)
 $\sigma_f = \sigma_s = \frac{M}{W} [N/mm^2] [Pa]$
- uvojna naprezanja (torziona naprezanja, naprezanja na uvijanje, npr. na torziju) $\tau_t = \tau_u = \frac{\tau}{W_o} [N/mm^2] [Pa]$
- smična naprezanja (naprezanje na smič, naprezanje na odrez) $\tau = \tau_s = \frac{F}{A} [N/mm^2] [Pa]$

Općenito je naprezanje:

- sila na jedinicu površine presjeka
- moment na jedinicu momenta otpora presjeka

Ekvivalentno opterećenjima i naprezanja mogu biti po načinu djelovanja:

- a) statička
- b) dinamička

$$r = \frac{\min \sigma}{\max \sigma} = 1$$

Karakteristike cikličkih dinamičkih naprezanja razlikuju se po veličini i položaju srednjih naprezanja (σ_m) i pripadajućih amplituda naprezanja (σ_a), a definiraju se preko odnosa graničnih

naprezanja $r = \frac{\min \sigma}{\max \sigma}$, gdje je: $\min \sigma$ – apsolutno najmanje naprezanje, a $\max \sigma$ – apsolutno najveće naprezanje.

Udarna i stohastična naprezanja obuhvaćaju se u proračunima odgovarajućim iskustvenim faktorima.

CIKLIČKA DINAMIČKA NAPREZANJA

- istosmjerno promjenljivo naprezanje s prednaprežanjem

$$(0 < r < 1)$$

σ_m - srednje naprezanje (prednaprežanje)

σ_a – amplituda naprežanja

σ_d – donje naprezanje

σ_g – gornje naprezanje

$$\sigma_m = \frac{\sigma_g + \sigma_d}{2} \quad \sigma_a = \frac{\sigma_g - \sigma_d}{2}$$

- čisto istosmjerno promjenljivo naprezanje ($r = 0$)

$$\sigma_a = \sigma_m$$

- naizmjenično promjenljivo naprezanje s prednaprežanjem

$$(-1 < r < 0)$$

- čisto naizmjenično promjenljivo naprezanje ($r = -1$)

$$\sigma_m = 0$$

Napomena: Kod izračunavanja vrijednosti r uzeti u obzir predznake (+ ili-) graničnih naprežanja.

3. ČVRSTOĆA

Čvrstoća je sposobnost materijala da preuzme odgovarajuće vrste naprežanja. Određuje se ispitivanjima na standardiziranim probnim epruvetama.

- statička čvrstoća

Vlačna statička čvrstoća određuje se na kidalicama, gdje se probna epruveta izlaže kontinuiranom porastu opterećenja, što izaziva njezino izduživanje. $\delta = \frac{F}{A_o}$

U dijagram se unosi odgovarajuće naprezanje $\bar{\sigma}$ probnog štapa svedeno na njegov početni presjek, uz pripadajuće njegovo relativno izduženje ε , te se dobiva $\bar{\sigma}$ - ε dijagram ili dijagram naprežanje – istežanje.

R_m = čvrstoća materijala

$$R_e = \text{granica tečenja (razvlačenja)} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} = \frac{l - l_o}{l_o} \cdot 100[\%]$$

Kod čelika viših mehaničkih svojstava (na pr. liegiranih) nije R_e u dijagramu jasno izražen, te se uzima da granica naprežanja kod kojeg počinju plastične deformacije odgovara relativnom izduženju $\varepsilon = 0,2\%$ i označava se s $RP_{0,2}$, dakle uzima se da je $R_{eH} \cong R_{p0,2}$.

- dinamička čvrstoća

Kod ispitivanja dinamičke čvrstoće, odn. dinamičke izdržljivosti pri ciklički promjenljivom opterećenju odnosno naprezanju prisutne su dvije bitne karakteristike:

1. Do loma dolazi a da ne nastupa plastična deformacija;
2. Lom nastaje kod naprezanja koja su niža od statičke čvrstoće na granici elastičnosti.

Do gornjih pojava dolazi uslijed nehomogene strukture materijala, gdje nejednaka čvrstoća u raznim smjerovima kristala izaziva uslijed opterećenja unutarnje lokalne plastične deformacije. Daljnjim opterećivanjima dolazi na tim mjestima do očvršćivanja materijala, te nakon toga do mikropukotina, koje se s vremenom opterećivanja šire, izazivaju koncentraciju naprezanja (nastaju tzv. žarišta zareznog djelovanja), oslabljuju presjek i dovode do naglog loma.

Prilikom korištenja strojni dijelovi su vrlo rijetko statički opterećeni i gotovo svi su izloženi promjenjivim opterećenjima koja najčešće imaju ciklički karakter, a uz koja se mogu pojavljivati i udarna i stohastička. Zbog toga je proučavanje i poznavanje dinamičke čvrstoće materijala kod cikličkih promjenljivih naprezanja od posebne važnosti.

Veličina naprezanja koja kod cikličkih dinamičkih opterećenja izaziva lom nije konstantna, već zavisi od broja promjena ovih naprezanja. Što je broj promjena naprezanja veći, to će i veličina naprezanja kod koje će nastupiti lom, biti manja. Ovu pojavu smanjenja otpornosti materijala pri dinamičkom naprezanju nazivamo i umornošću materijala.

Dinamička čvrstoća kod vlačno-tlačnih naprezanja određuje se na pulzatoru, a dinamička čvrstoća na savijanje kod rotacije određuje se na posebnim strojevima.

DIJAGRAM DINAMIČKE ČVRSTOĆE

-Wöhlerova krivulja

- za čelični materijal
- za jedan način opterećenja (vlak-tlak, savijanje, torzija i sl.)
- za jednu vrstu cikličkog dinamičkog naprezanja

Napomena: Naprezanja i čvrstoće označavaju se identičnim simbolima (σ_ε), s time da kod naprezanja ovi simboli nose indekse s malim slovima, a kod čvrstoće s velikim slovima.

Vrsta cikličkog dinamičkog naprezanja ima veliki utjecaj na dinamičku čvrstoću.

Znači kod jednog načina opterećenja (na pr. savijanja) moramo za svaku vrstu dinamičkog naprezanja imati posebni Wöhlerov dijagram.

Dinamička izdržljivost σ_D za određeni način i vrstu dinamičkog opterećenja predstavlja odgovarajuću veličinu maksimalnog dinamičkog naprezanja, kojemu možemo trajno izložiti probnu epruvetu, a da ne dođe do njezinog loma.

Utjecaj preopterećenja

Strojni dijelovi mogu uz nominalna dinamička opterećenja biti povremeno izloženi i određenom broju promjena povećanih naprezanja (na pr. puštanje stroja u rad, u području n_{krit} i sl.). Iskustvo je pokazalo da mali broj promjena relativno velikog preopterećenja ne utječe na dinamičku izdržljivost. Krivulju utjecaja preopterećenja na dinamičku izdržljivost uz Wöhlerovu krivulju ucrtao je French (Frenč).

Ako σ_1 nastupi do N_1 puta, odnosno σ_2 do N_2 puta, onda te pojave ne utiču na dinamičku izdržljivost σ_D .

Ako se σ_3 pojavi N_3 puta nastaje oštećenje i utiče na σ_D .

Dakle, Frenchova (Frenčova) krivulja pokazuje do kuda se smije i “koliko puta” povisiti naprezanje iznad dinamičke izdržljivosti σ_D , a da to ne utječe na samu dinamičku izdržljivost.

Smith-ov dijagram

Na osnovi dinamičkih izdržljivosti dobivenih iz Wöhlerovih dijagrama za razne vrste cikličkog dinamičkog naprezanja, a za jedan način opterećenja (na pr. za savijanje), izrađen je jedinstven dijagram dinamičkih izdržljivosti za sve vrste cikličkih dinamičkih naprezanja i jedan način opterećenja, koji se po prvom autoru naziva Smith-ov dijagram.

Vrijednosti dinamičkih čvrstoća, odnosno dinamičkih izdržljivosti, različite su za pojedine načine opterećenja (vlak, tlak, savijanje, torzija) kod inače iste vrste materijala. To znači da ćemo za jednu vrstu materijala imati za svaki način opterećenja posebni Smith-ov dijagram, za čelične materijale vrijednosti dinamičkih izdržljivosti su najniže kod torzije.

Izrada Smith-ovog dijagrama

..

dinamička izdržljivost kod čisto istosmjerno promjenljivog naprezanja

Primjeri: ucrtane točke 1-1' i 2-2' s označim pripadajućim σ_m , σ_A , σ_G (gornja vrijednost trajne čvrstoće = dinamička izdržljivost za dani slučaj naprezanja).

Na apscisu se nanose srednja naprezanja σ_m (prednaprezanja) ciklički promjenljivog naprezanja, a na ordinatu dinamičke izdržljivosti σ_D za pripadajuću vrstu dinamičkog naprezanja. Oko pravca pod 45° raspoređene su amplitude dinamičke izdržljivosti σ_A . Smith-ov dijagram je ograničen s granicom tečenja σ_T da ne bi nastupile plastične deformacije (od točke 2-2').

Područje I-II – dinamičke izdržljivosti za istosmjerna promjenljiva naprezanja s prednapretnjem
Područje II-III – dinamičke izdržljivosti za naizmjenično promjenljiva naprezanja s prednapretnjem

Iz Smith-ovog dijagrama za jedan materijal i jedan način opterećenja (na pr. za savijanje) mogu se očitavati sve vrijednosti dinamičkih izdržljivosti tog materijala kod svih vrsta cikličkih dinamičkih naprezanja pri danom načinu opterećenja (na pr. savijanje), za što bi inače bilo potrebno posjedovati čitav niz Wöhlerovih krivulja.

Sve prethodno navedeno o dinamičkoj izdržljivosti materijala određeno je, kako je već spomenuto, na standardiziranim probnim epruvetama. Stvarni oblik, dimenzije, karakteristike i stanje strojnih dijelova u pravilu se bitno razlikuju od probne epruvete, tako da ove razlike treba obuhvatiti prilikom utvrđivanja visine dinamičke izdržljivosti strojnih dijelova.

UTJECAJI NA VISINU DINAMIČKE IZDRŽLJIVOSTI

1. Metalurški utjecaji
2. Tehnološki utjecaji
3. Utjecaj toplinske obrade

4. Utjecaj preostalih naprezanja
5. Utjecaj načina mjerenja dinamičke izdržljivosti
6. Utjecaj temperature
7. Utjecaj načina uzimanja uzoraka
8. Utjecaj zareza
9. Utjecaj veličine probnog uzorka
10. Utjecaj kvalitete površinske obrade
11. Utjecaj opetovanog brzog zagrijavanja i hlađenja (toplinski šok)
12. Utjecaj korozije

Uzimajući u obzir sve naprijed navedene utjecajne faktore dolazimo do dva pojma čvrstoće strojnih dijelova:

POGONSKA ČVRSTOĆA je čvrstoća gotovo oblikovanog strojnog dijela.

Određivanje pogonske čvrstoće, tj. dinamičke izdržljivosti gotovo oblikovanog strojnog dijela, može se izvršiti bilo direktnim pogonskim (eksploatacionim) ispitivanjem, bilo laboratorijskim ispitivanjem pod identičnim uvjetima kakvima će strojni dio biti izložen u stvarnom pogonu.

ČVRSTOĆA OBLIKA je izračunata vrijednost čvrstoće gotovo oblikovanog strojnog dijela.

Čvrstoća oblika dobiva se tako, da se u njezin proračun uključe svi utjecajni faktori. Time dinamička izdržljivost gotovo oblikovanog strojnog dijela postiže daleko niže vrijednosti od dinamičke izdržljivosti samog materijala iz kojeg je taj strojni dio izrađen.

Čvrstoća oblika se označava sa

G_O odnosno G_{OG} , gdje tada znači-gornja granična vrijednost čvrstoće oblika

Općeniti izrazi za izračunavanje čvrstoće oblika glase:

$$\sigma_{OG} = \frac{b_1 b_2 \sigma_G}{\varphi \beta_k} \quad \text{za TLAK-VLAK (} b_1=1 \text{)}$$

$$\sigma_{FOG} = \frac{b_1 b_2 \sigma_{FG}}{\varphi \beta_{kf}} \quad \text{za SAVIJANJE}$$

$$\tau_{iOG} = \frac{b_1 b_2 \tau_{iG}}{\varphi \beta_{kt}} \quad \text{za TORZIJU}$$

U gornjim jednadžbama obuhvaćeni su svi utjecajni faktori na visinu dinamičke izdržljivosti:

-prvih sedam faktora (dakle utjecaji od 1. do 7.) uzeto je u obzir, odnosno mora biti uzeto u obzir, kod određivanja G_G , G_{FG} ili T_{iG}

-8. utjecaj-utjecaj zareza uzet je u obzir kroz

faktor zareznog djelovanja $\beta_k, \beta_{kf}, \beta_{kt}$

-9. utjecaj obuhvaćen je **faktorom veličine b_1**

(kod tlačno-vlačnih naprezanja veličina strojnog dijela nema utjecaja na dinamičku izdržljivost, pa je $b_1=1$)

-10. utjecaj uzima se u obzir s **faktorom kvalitete površinske obrade b_2**

- jedino 11. i 12. utjecajni faktori nisu zbog svojih specifičnosti obuhvaćeni u gornjim općim izrazima za proračun čvrstoće oblika. Ako se ovi utjecaji na strojnim

dijelovima pojave, treba ih posebno razmotriti i prema specifičnosti svog djelovanja uzeti u obzir kod izračunavanja čvrstoće oblika.

-pojava udarnog opterećenja strojnog dijela obuhvaćena je **faktorom udara ϕ** .

Najčešći slučaj naprezanja strojnih dijelova je čisto naizmjenično promjenljivo naprezanje ili čisto istosmjerno promjenljivo naprezanje, tako da se kod proračuna čvrstoće oblika za G_G , G_{fG} i T_{tG} uzimaju slijedeće vrijednosti:

za $G_G - G_{DN}$ ili G_{DI} ; za $G_{fG} - G_{fDN}$ ili G_{fDI} ; za $T_{tG} - T_{tDN}$ ili T_{tDI}

Kod ostalih načina naizmjenično, odnosno istosmjerno promjenljivog naprezanja strojnih dijelova prednje vrijednosti uzete u proračunu čvrstoće oblika povećavaju njezinu pouzdanost.

Određivanje dinamičke izdržljivosti G_G (G_{fG} ili T_{tG}) iz Smith-ovog dijagrama za bilo koji slučaj naprezanja vrši se inače na slijedeći način:

naprezanje strojnog dijela

G_G = dinamička izdržljivost (gornja granična vrijednost čvrstoće) za razmatrani slučaj naprezanja

G_A = amplituda dinamičke izdržljivosti

G_M = srednja vrijednost dinamičke izdržljivosti

G_{OG} = čvrstoća oblika strojnog dijela

G_{OA} = amplituda čvrstoće oblika

Stvarno naprezanje strojnog dijela unosi se u Smith-ov dijagram prema pripadajućem prednaprezanju (srednjem naprezanju T_m). Kroz tako dobivene točke 1 i 2 povlače se iz ishodišta dijagrama (D) zrake do sjecišta s gornjom graničnom vrijednosti dinamičke izdržljivosti, dobivaju se točke 1' i 2', a time i dinamička izdržljivost G_G (gornja granična vrijednost čvrstoće) za dani slučaj naprezanja strojnog dijela.

Prema tako utvrđenoj vrijednosti trajne dinamičke čvrstoće G_G može se izračunati G_{OG} i unijeti ovaj podatak u prikaz naprezanja i čvrstoća razmatranog strojnog dijela.

SIGURNOST

Prema prethodnom prikazu očito je da mora biti zadovoljen uvjet

$$\sigma_{OG} \geq \sigma_g$$

Odnos čvrstoće i stvarnih naprezanja definira se kao postojeća sigurnost, dakle

$$S_{post} = \text{čvrstoća} / \text{stvarna naprezanja}$$

Prednja definicija postojeće sigurnosti vrijedi općenito, tako da se može govoriti o sigurnosti u odnosu na lomnu čvrstoću G_M , u odnosu na granicu tečenja G_T ili dinamičkoj sigurnosti u odnosu na dinamičku čvrstoću (čvrstoću oblika), koja je kod proračuna strojnih dijelova od primarnog značenja. **Postojeća dinamička sigurnost** je dakle

$$S_{post} = \frac{\sigma_{OG}}{\sigma_{stv.}} \left(\text{odnosno } S_{post} = \frac{\sigma_{fOG}}{\sigma_{fstv.}} \text{ ili } S_{post} = \frac{\tau_{tOG}}{\tau_{tstv.}} \right)$$

S obzirom da pouzdanost u obuhvaćanju svih utjecajnih faktora kod proračuna čvrstoće oblika nije i ne može biti apsolutna, to mora biti uvijek $G_{OG} > G_g$, a to ujedno znači i $S_{post} > 1$.

Prema iskustvenim i statističkim pokazateljima utvrđena je za razne slučajeve naprezanja potrebna sigurnost S_{potr} , tako da kod proračuna i dimenzioniranja strojnih dijelova mora uvijek biti zadovoljen uvjet

$$S_{post} \geq S_{potr}$$

DOPUŠTENI NAPREZANJE

Dopušteno naprezanje σ_{dop} (ili dop 6) već i prema samom nazivu mora uvijek zadovoljiti uvjet, da je

$$\sigma_{stv.} \leq \sigma_{dop}$$

U literaturi, a posebno u priručnicima, su često za pojedine vrste materijala i naprezanja navedena dopuštena naprezanja, koja se međutim mogu koristiti samo za orijentacione i prethodne proračune

Stvarno se dopušteno naprezanje može utvrditi jedino proračunom za svaki pojedinačni slučaj, odnosno u svakoj fazi proračuna strojnog dijela. Općenito je dopušteno naprezanje definirano kao $\sigma_{dop} = \text{čvrstoća/potrebna sigurnost}$

odnosno u području **dinamičkih naprezanja**

$$\sigma_{dop} = \text{čvrstoća oblika/potrebna sigurnost}$$

Na pr.: Za proračun i dimenzioniranje jednog presjeka nekog strojnog dijela, koji je opterećen naizmjenično promjenljivo na savijanje, dopušteno naprezanje izračunat će se prema izrazu

$$\sigma_{dop} = \frac{\sigma_{fOG}}{S_{potr}} = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fDN}}{\varphi \beta_{kf} S_{potr}}$$

gdje je G_{fDN} odgovarajuća naizmjenična dinamička izdržljivost materijala iz kojeg će strojni dio biti izrađen, b_1 , b_2 i β_{kf} faktori karakteristični za razmatrani presjek, φ faktor udara i S_{potr} potrebna sigurnost za dani slučaj naprezanja.

Primjer 1.

Prilikom ispitivanja dinamičke čvrstoće kod savijanja materijala Č.0461 pri čisto naizmjenično promjenljivom naprezanju dobiveni su slijedeći podaci:

$G_M = 420 \text{ N/mm}^2$ - čvrstoća materijala kod statičkog naprezanja

$G_{fN} = 410 \text{ N/mm}^2$ - kod broja promjena $N = 10^2$

$G_{fN} = 370 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 10^4$

$G_{fN} = 335 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 3,16 \cdot 10^4$

$G_{fN} = 300 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 10^5$

$G_{fN} = 250 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 10^5$

$G_{fN} = 230 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 10^6$

$G_{fN} = 218 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 3,2 \cdot 10^6$

$G_{fDN} = 210 \text{ N/mm}^2$ - za $N = 10^7$

Prema dobivenim podacima treba nacrtati Wöhlerov dijagram u mjerilu

za $\sigma : 1 \text{ mm} \hat{=} 5 \text{ N/mm}^2$

za $N : 16 \text{ mm} \hat{=} \log 10$

Rješenje:

Wöhlerov dijagram

Mjerilo:

$$\text{za } \sigma : 1\text{mm} \hat{=} 5\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\text{za } N = 16\text{mm} \hat{=} \log 10$$

Primjer 2.

Strojni dio izrađen je iz materijala Č.0461 i čisto je naizmjenično promjenljivo napregnut na savijanje s faktorom udara $Y=1,2$, a u jednom njegovom karakterističnom presjeku faktor zareznog djelovanja iznosi $\beta_{kf}=1,42$, faktor veličine je $b_1=0,85$ i faktor kvalitete površinske obrade $b_2=0,92$.

a) Potrebno je izračunati čvrstoću oblika karakterističnog presjeka za područje vremenske čvrstoće uzimajući u obzir podatke za materijal Č.0461 iz primjera 1.

nacrtati u području vremenske čvrstoće Wöhlerovu krivulju za materijal, te Wöhlerovu krivulju vremenske čvrstoće oblika promatranog presjeka u istom dijagramu u mjerilu

$$\text{za } \sigma : 1\text{mm} \hat{=} 5\text{N} / \text{mm}^2$$

$$\text{za } N : 40\text{mm} \hat{=} \log 10$$

b) Ako je strojni dio opterećen $N=5 \cdot 10^4$ puta, a promatrani karakteristični presjek strojnog dijela napregnut sa G_{fg} ($G_{f\text{maks}}=110 \text{ N/mm}^2$) i G_{fd} ($G_{f\text{min}}=60 \text{ N/mm}^2$) pri $h_{b\text{maks}}=40\%$, ucrtati u prednji Wöhlerov dijagram zbirnu krivulju naprezanja tog presjeka, te utvrditi postojeću sigurnost S_{post} u tom presjeku.

Rješenje:

$$\text{Općenito: } \sigma_{fON} = \frac{b_1 b_2 \sigma_{fN}}{\varphi \beta_{kf}}$$

$$\text{Poznato: } b_1=0,85 \quad b_2=0,92 \quad \varphi=1,2 \quad \beta_{kf}=1,42$$

$$\sigma_{fON} = \frac{0,85 \cdot 0,92 \cdot \sigma_{fN}}{1,2 \cdot 1,42} = 0,459 \sigma_{fN}$$

$$\text{za } N=10^4 - G_{fON} = 0,459 \cdot 370 = 170 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za } N=3,16 \cdot 10^4 - G_{fON} = 0,459 \cdot 335 = 154 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za } N=10^5 - G_{fON} = 0,459 \cdot 300 = 138 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za } N=5 \cdot 10^5 - G_{fON} = 0,459 \cdot 250 = 115 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za } N=10^6 - G_{fON} = 0,459 \cdot 230 = 106 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{za } N=3,2 \cdot 10^6 - G_{fON} = 0,459 \cdot 218 = 100 \text{ N/mm}^2$$