

NAVRHOVANIE STROJOVÝCH SÚČIASTOK

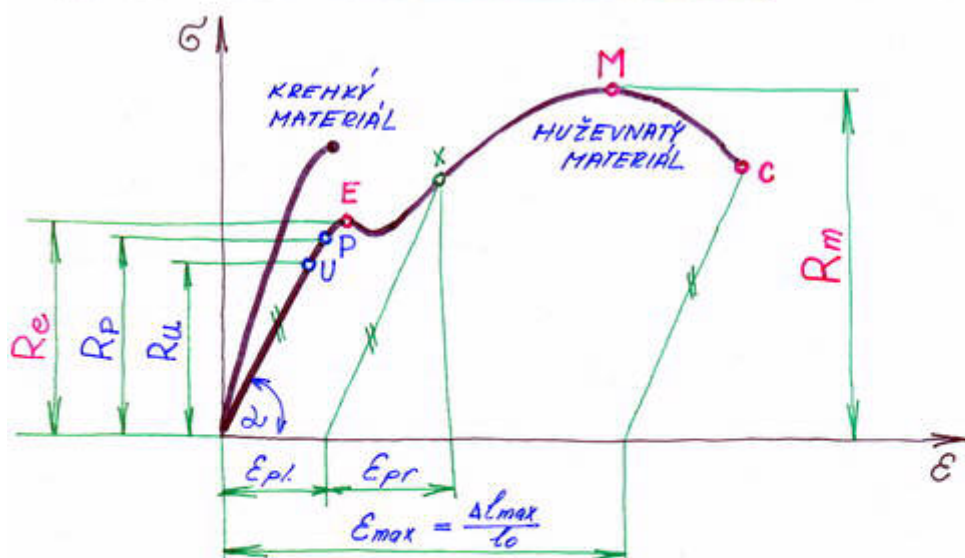
-1-

Pod návrhom stroj. súč. sa rozumie stanovenie ich tvaru, materiálu a rozmerov.

TVAR strojovej súčiastky závisí hlavne od jej funkcie v danom zariadení. Vhodne zvolený prierez súčiastky vytvára predpoklad hospodárneho využitia materiálu.

Voľba vhodného **MATERIÁLU** stroj. súč. závisí hlavne od jej funkcie, zaťaženia a spôsobu výroby. Vo väčšine prípadov sa v strojárstve stretávame s kovovými materiálmi, z ktorých najvoľčšie použitie majú zliatiny železa, teda **OCELE** s obsahom uhlíka v železe do 2,1% a **LIATINY**. Veľmi zjednodušene môžeme rozdeliť ocele na **KONŠTRUKČNÉ** s obsahom uhlíka 0,2 ÷ 0,5% a **LEGOVANÉ** s prísadami ušľachťujúcej kovov (Al, Cr, K, Cu, Mo, Ti, V, Ni, W, ...).

PRACOVNÝ DIAGRAM MATERIÁLU PRI ŤAHU



R_u - nap. na medzi **ÚMERNOSTI** - v tejto oblasti ešte nedochádza k trvalej dĺžkovej zmene súčiastky

R_p - nap. na medzi **PRUŽNOSTI** - pri dosiahn. tejto medze nastáva trvalá DEFORM. súč. v hodn. $\epsilon = 0,005\%$ a označujú sa $R_{p0,005}$.

R_E - nap. na medzi KLZU - napätie, pri ktorom nastáva značné PREDLŽOVANIE súč. bez zväčšov. zaťažou.

R_m - nap. na medzi PEVNOSTI - pri dosiahn. takého nap. sa v kúž. ževnatých oceliach začína tvoriť miestne ZÚŽENIE súč., t.j. KRČOK. V b. - C - sa súč. posúva.

ϵ - pomerné predĺženie súč. : $\epsilon = \epsilon_{pl.} + \epsilon_{pr.}$

ϵ_{max} - predst. pom. predlž. roztrhutej súč. tyče a jej hodnota v % charakter. ŤAŽNOSŤ mat. - δ .

Ťažnosť mat. : $\delta = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l_{max}}{l_0} \cdot 100 [\%]$

Kontrakcia mat. - pomerné zúž. prierezu : $\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} = \frac{\Delta S}{S_0} \cdot 100 [\%]$

HOOKEV ZÁKON - pre ŤAH:

$$\frac{\sigma_1}{\epsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\epsilon_2} = \frac{R_u}{\epsilon_u} = \text{tg} \alpha = \text{konst.} = E - \text{zákon úmernosti}$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon} = E \Rightarrow \sigma = \epsilon \cdot E \text{ [MPa]} \quad \text{Konštanta } E - \text{modul pružnosti v ťahu}$$

Vychádzajúc zo $\sigma = \epsilon \cdot E$ a dosadením $t = 100^\circ\text{C}$, nad $t > 100^\circ\text{C}$ prudko klesá.

$$\frac{E}{S} = \frac{\Delta l}{l} \cdot E \text{ dostávame}$$

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E \cdot S} \quad \text{Kde súčin: } E \cdot S - \text{tuhosť v ťahu}$$

Poissonova konštanta: $\mu = \frac{\psi}{\epsilon}$; pre ocel': $\mu = 0,3$; pre liatinu: $\mu = 0,25$

Pre ŠMYK:

$$\frac{\epsilon_{\phi_1}}{\phi_1} = \frac{\epsilon_{\phi_2}}{\phi_2} = \dots = \frac{\epsilon}{\phi} = \text{tg} \alpha = \text{konst.} = G - \text{zákon úmernosti}$$

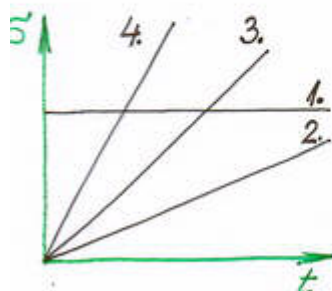
$$\frac{\epsilon}{\phi} = G \Rightarrow \epsilon = G \cdot \phi \text{ [MPa]} \quad \text{Konštanta } G - \text{modul pružn. v šmyku}$$

pre ocel': $G = 8 \cdot 10^4 \text{ MPa}$

ϕ - skos $\text{tg} \phi = \frac{\Delta l}{l}$

Stanovenie rozmerov strojových súč. sa nazýva **DIMENZOVANIE**.
Tento proces začína po určení **TVARU a MATERIÁLU** súčiastky.
Dimenzujeme na základe výpočtu, pričom vychádzame z určitého
SPÔSOBU a DRUHU NAMÁHANIA - ZATÁŽENIA.

SPÔSOBY ZATÁŽENIA:



- A) MONOTONNÉ - STATICKÉ - stále:** $\sigma = \text{konšt}$ (1)
- **kľudné:** $d\sigma/dt < 10^{-2} \text{ MPa.s}^{-1}$ (2)
- **DYNAMICKÉ - rýchle:** $d\sigma/dt > 10^{-2}$ (3)
- **rázové:** $d\sigma/dt > 10^4$ (4)

- B) PREMENLIVÉ - KMITAVÉ DYNAMICKÉ:**
- pravidelné (determinist.)
- náhodné (stochastické).

Dimenzovanie pri monotennom spôs. zatážení závisí od druhu NAMÁHANIA:

ŤAH: $\sigma_t = \frac{F_t}{S} \leq \sigma_{td}$ kde: $F_t [\text{N}]$ - je zatáčujúca ťahová sila,
 $S [\text{m}^2]$ - plocha prierezu
 $\sigma_{td} [\text{MPa}]$ - dovol. nap. v ťahu

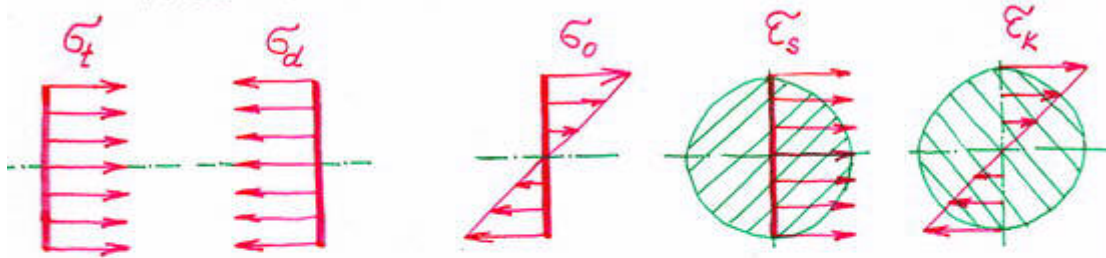
TLAK: $\sigma_d = \frac{F_d}{S} \leq \sigma_{dd}$ kde: F_d, S, σ_{dd} - podľa predch.

OHYB: $\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \leq \sigma_{od}$ kde: $M_o [\text{N.m}]$ - ohybový moment
 $W_o [\text{m}^3]$ - prierez. modul v ohybe
 $\sigma_{od} [\text{MPa}]$ - dovol. nap. v ohybe

ŠMYK: $\tau_s = \frac{T}{S} \leq \tau_{sd}$ kde: $T [\text{N}]$ - zatáč. (posúv.) šmyk. sila
 $S [\text{m}^2]$ - plocha prierezu
 $\tau_{sd} [\text{MPa}]$ - dov. nap. v šmyku

KRUT: $\tau_k = \frac{M_k}{W_k} \leq \tau_{kd}$ kde: $M_k [\text{N.m}]$ - krútiaci moment
 $W_k [\text{m}^3]$ - prier. modul v krútení
 $\tau_{kd} [\text{MPa}]$ - dov. nap. v krúte

PRIEBEHY NAPÄTÍ V NOSNOM PRIEREZE



STANOVENIE DOVOLENÉHO NAPÄTIA

Jednoosá napätosť:

a) pre húževnatý materiál: $\underline{\sigma \leq \sigma_D = \frac{R_e}{k_k}}$ kde bezpečnosť k medzi klzu: $\underline{k_k = 1,5 \div 2,5}$

b) pre krehký materiál: $\underline{\sigma \leq \sigma_D = \frac{R_m}{k_p}}$ kde bezpečnosť k medzi pevnosti

DOVOLENÉ napätia pre jednotl. dr. namáh. a materiály sú spracované v ST.

$k_p = 2,5 \div 3,5$ - oceľ
 $k_p = 4 \div 5$ - siva liat.

Viacosá napätosť:

a) pre húževnatý materiál: $\underline{\sigma_{red} \leq \sigma_D = \frac{R_e}{k_k}}$ kde: $\underline{k_k = 1,5 \div 2,5}$

b) pre krehký materiál: $\underline{\sigma_{red} \leq \sigma_D = \frac{R_m}{k_p}}$ kde: $k_p = 2,5 \div 3,5$
 $k_p = 4 \div 5$

Hodnoty redukovaného nap. - σ_{red} - najčastejšie stanovíme podľa hypotézy maximálneho šmykového napätia: $\underline{\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2}}$

alebo podľa hypotézy maxim. deform. energie zmeny tvaru - MMH - (Huber-Mises-Hencky):

$\underline{\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}}$

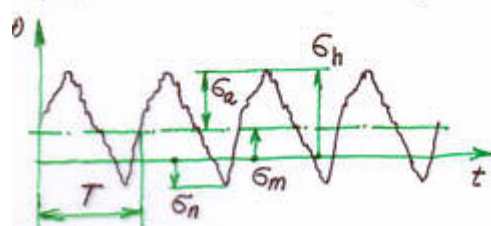
DIMENZOVANIE PRI PREMENLIVOM, TEDA DYNAMICKO - KHITAVOM
SPÔSOBE ZAŽIENIA

Klasifikácia premenlivého zaťaženia:

Deterministické - zaťaženie, ktoré vieme určiť, popísať matem. vzťah.

Stochastické - náhodné - popisujú sa a riešia sa matematickou štatistikou.

Harmonické, čiže periodické procesy, pri *deterministickom zaťažení* sú popísané vzťahom: $G(t) = G_a \cdot \sin 2\pi \cdot f_0 \cdot t$, pričom: G_a - amplitúda kmh.
 f_0 - frekvencia kmh.



G_h - horné nap.

G_n - dolné nap.

G_m - stredné nap.

G_a - amplitúda

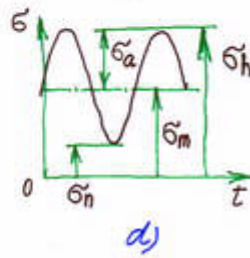
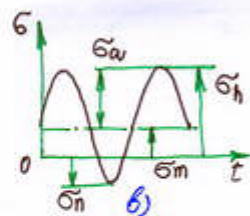
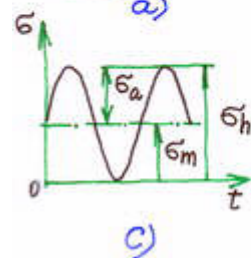
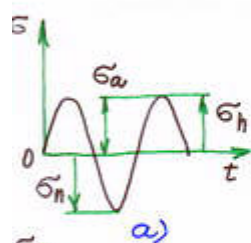
$$(f_0 = \frac{1}{T}; \omega_0 = \frac{2\pi}{T}; f_0 = \frac{n}{60})$$

$$G_m = \frac{G_h + G_n}{2}; G_a = \frac{G_h - G_n}{2}$$

Druhy premenlivého zaťaženia

Na základe hodnôt napätí G_h a G_n , prípadne G_m a G_a môžeme premenlivé zaťaženie rozdeliť na:

a) striedavé symetr., b) striedavé nesym., c) miznúce, d) pulzujúce.



Premenlivé zať. spôsobujú tzv.:

medzné stavy strojových súčiast.

Sú to také stavy, kedy z najrôznejších príčin strácajú súč. plniť svoju funkciu.

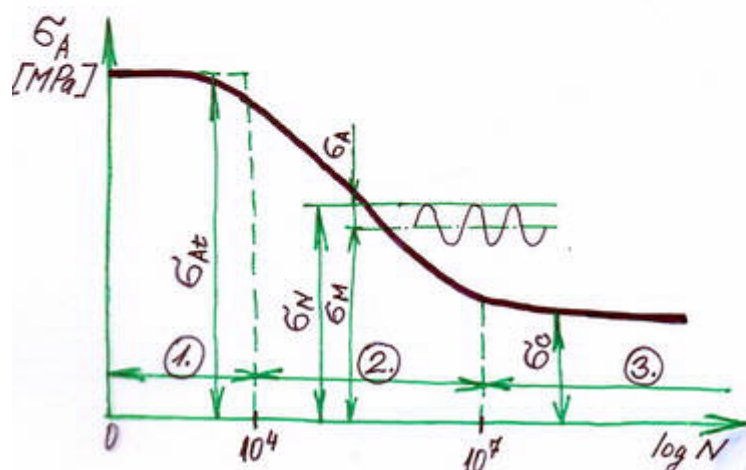
Faktory ovplyvňujúce MS:

- prevádzkové - prieč. vonk. sil, zaťaž.
- technologické - tvar, veľk. súč, opotre.
- metalurgické - chem. zlož., tepeln. spracov.

Najčastejší prípad MS je: ÚNAVOVÝ LOM - vyskytuje sa u súč., ktoré sú zaťažované premenlivými silami a deformáciami.

Prvý výskum - ÚL - prevádzkal: August Wöhler (1852-1870)

Základnou únavovou charakteristikou: WÖHLEROVA KRIVKA, ktorá udáva závislosť amplitúdy napätia na počte cyklov do lomu.



①. STATICKÁ PEVNOSŤ
 $0 \leq N \leq 10^4$

napätie pribl. konšt.

②. ČASOVÁ PEVNOSŤ
 $10^4 \leq N \leq 10^7$

nap. so vzrastaj. poč. cyklov klesá

③. TRVALÁ PEVN.
 $10^7 \leq N$

Časová medza únavy: $\sigma_N = \sigma_M \pm \sigma_A$ súč. má životnosť N cykl.

Medza únavy : $\sigma_C = \sigma_M \pm \sigma_A$ súč. má životnosť neobmedzený počet cyklov.

DIMENZOVANIE SÚČIASTKY PRI STRIEDAVOM SYMETR. ZAŤAŽENÍ

Dimenzovanie stroj. súč. zaťažených PREMENLIVÝM zaťažením sa uskutočňuje pomocou súčiniteľa bezpečnosti - k -, konkrétne pomocou súč. bezpečn. k hornému napätiu - k_h - a súč. bezpečn. k amplitúde - k_a -. Prvý z nich dáva informáciu o využití materiálu a druhý informuje o prevádzkových podmienkach a o výťanovom preťažení.

Pri striedavom symetr. zat.: $\sigma_a = \sigma_h$ v ďalšom - σ_a -.

$k_a = k_h \Rightarrow -k-$.

V procese dimenzov. je potrebné poznať medzné hodnoty napätí v nosnom priereze súčiastky. Určujú sa únavovými skúškami - Wöhlerovými skúškami.

Hodnota medze únavy - σ_c - skúšobného vzorku - tyče (tyč Ø10 s hladkým povrchom) sa od medze únavy skutočnej súč. výrazne líši. Zvlášť nepriaznivo pôsobí na veľkosť medze únavy zmeny tvaru prierezu súč., ktoré sa nazývajú VRUBY. Ide o konštr. prvky ako sú: osadenia, zápichy, žliabky pre pero, diery pre kolíky a pod.

Všetky skutočn. vplyvy medzu únavy skutočnej súč. sú kvantifikované súčiniteľmi, ktorých hodnoty sa získavajú v príslušných tabuľkách a grafoch.

Potom medzu únavy skutočnej súč. - σ_c^* - stanovíme zo vzťahu:

$$\sigma_c^* = \sigma_c \cdot \frac{\gamma \cdot \sqrt{v}}{\beta}; \quad \text{kde: } \sigma_c - \text{je medza ún. skúš. vzorku - STR. TAB.}$$

$$\gamma - \text{súč. akosti povrchu; } \gamma < 1,$$

$$\sqrt{v} - \text{súč. veľkosti súčiastky; } \sqrt{v} \geq 1,$$

Vrubový súčin. - β - zavádza do výpočtu účinkov tvaru vrubu súčiniteľom - d - a vplyv vrubovej citlivosti materiálu súč. - q - podľa vzťahu: $\beta = 1 + q \cdot (d - 1)$.

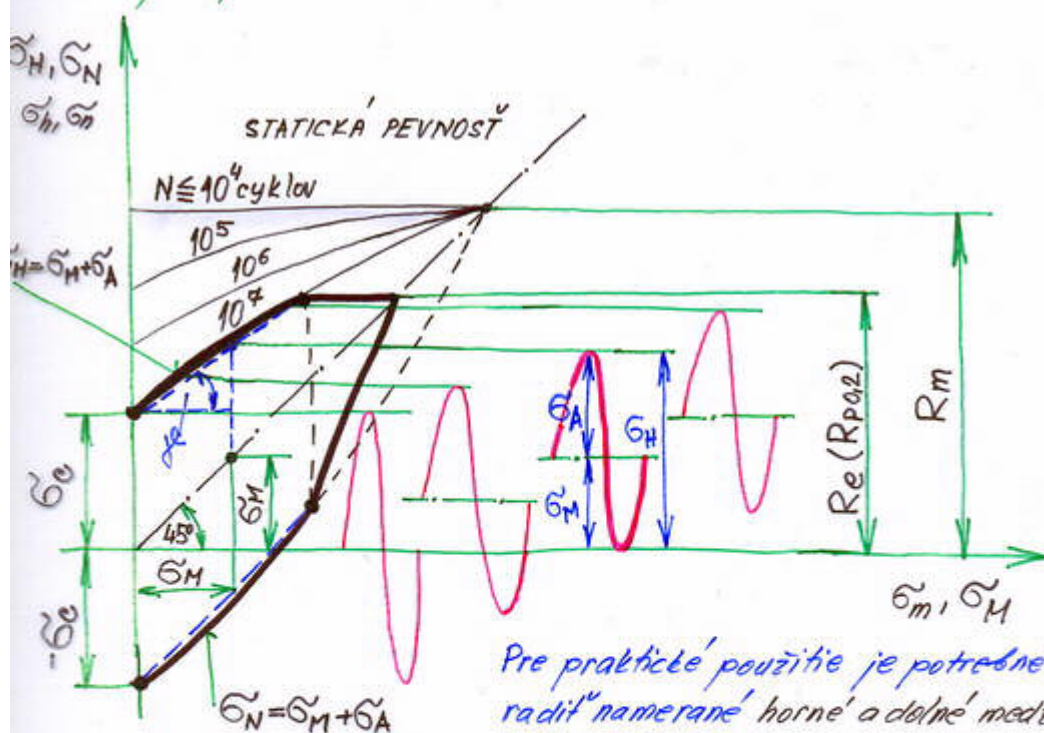
Na základe výpočtu sa stanoví súčiniteľ bezpečnosti: $k = \frac{\sigma_c^*}{\sigma_c}$

DIMENZOVANIE SÚČIASTOK PRI NESYMETRICKOM, MIZNÚCOM A PULZUJÚCOM ZATAŽENÍ

Stanovenie medzných napätí pre rôzne prípady nesymetr., mien. a pulzujúceho zataženia je veľmi nákladnou a častou náročnou záležitosťou, nakoľko pri experimente sa hľadá také dynamické napätie, pri ktorom skúš. tyč vydrží práve „netonečne veľký počet cyklov“. Z toho dôvodu únavové skúšky tohoto typu sa prehľadne zobrazujú pomocou Smithovho diagramu, na osi ktorého sa vynášajú hodn. str. medz. nap. - σ_H - a hodn. horných - σ_H - a dolných - σ_N - medzných napätí.

Únavové skúšky realizované na skúšobných vzorkách za účelom stanovenia Smithovho diagramu sa uskutočňujú tak, že sa postupne ku **striedavému symetrickému nap.** superponuje **statická zložka**. Táto mení na **nesymetrické, miznúce a pulzujúce**. Všetky tieto získané hodnoty **medaných napätí** - σ_H - sú pri nastavenom str. nap. - σ_H - najväčšie, kedy skúšobná vzorka vydrží práve **ošetrovane veľký počet cyklov**.

Namerané dvojice hodnôt - σ_H - a - σ_N - vytvárajú v Smithovom diagr. dve krivky, ktoré predstavujú geometrické miesta **horných medaných napätí** - σ_H - a **dolných medaných napätí** - σ_N -. Presne v strede medzi nimi leží bod o súradn. - σ_H - a - σ_H - a predstavuje priamku napätí pod 45° uhlom.



Pre praktické použitie je potrebné nahradiť namerané horné a dolné medané krivky - **ÚSEČKAMI**.

Rovnicu úsečky pre - σ_A - a - σ_H - odvodíme nasledovne.

$\tan \varphi = \frac{\sigma_H - \sigma_c}{\sigma_m}$	$\sigma_A = \sigma_H - \sigma_m$ $\sigma_A = \sigma_H \cdot \tan \varphi - \sigma_m + \sigma_c$	$\sigma_A = \sigma_c - (1 - \tan \varphi) \sigma_m$ ψ
---	--	---

Potom rovnica pre medzné nap. amplitúdy bude:

$\sigma_A = \sigma_c - \psi \cdot \sigma_H$ pričom $-\psi$ je súčin, ktorý vyjadruje citlivosť mat. voči asymetrii cyklu.

Nakol'ko: $\sigma_A = \sigma_H - \sigma_H$, dosadením a úpravou dostávame rovnicu pre priebeh horných medzných napätí: $\sigma_H = \sigma_c + \sigma_H(1 - \psi)$.

Hodnoty súčiniteľa $-\psi$

Nelegovaná oceľ: $R_m = 400 - 550 \text{ MPa}$

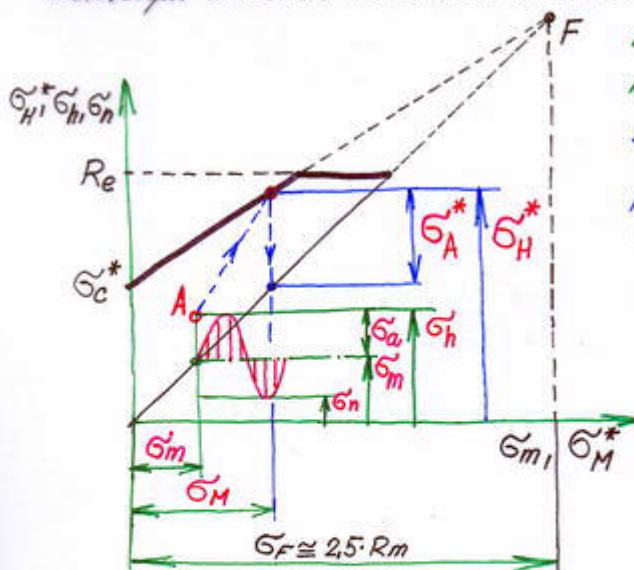
$R_m = 650 - 750 \text{ MPa}$

Chromniklová oceľ: $R_m = 1000 - 1200 \text{ MPa}$

Legovaná oceľ: $R_m = 1100 - 1200 \text{ MPa}$

ψ tah-tlak-ohyb	krut
0,15	0,1
0,2	0,1
0,25 ÷ 0,3	0,1
0,3	0,15 - 0,2

Smithov diagram skutočnej súčiastky v jej nosnom priereze je geometrickým miestom nekonečne veľa hodnôt medzných dynam. napätí.



Lomená priamka vytvára hranicu medzi časovou pevn. a trvalou pevn. Šikmý úsek lomenej pr. bude popísaný analogickým vzť. ako pre horne medzné napätia.

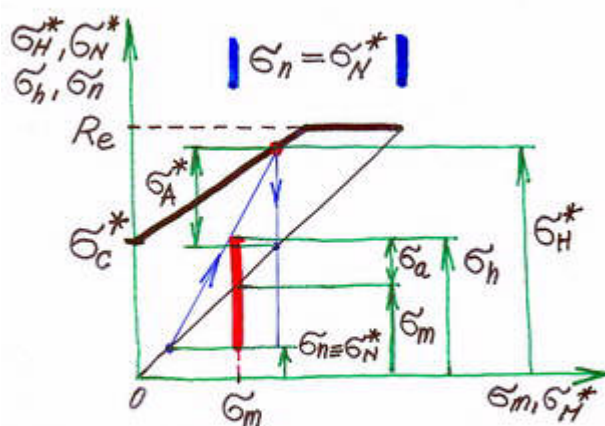
$\sigma_H^* = \sigma_c^* + \sigma_H^*(1 - \psi^*)$,
kde $\psi^* = \psi / \beta$.

Každý bod v diagrame reprezentuje určitý pracovný prevádzkový cyklus, ktorý je charakterizovaný prevádzkovými napätiami - napríklad

bod $A(\sigma_m, \sigma_n, \sigma_a, \sigma_H)$.

Miera bezpečnosti ťažovného prevádzkového cyklu sa stanoví na základe súčiniteľa bezpečnosti: **$k_k = \frac{\sigma_H^*}{\sigma_H}$** alebo **$k_a = \frac{\sigma_A^*}{\sigma_a}$** .

TRETÍ prípad je založený na rovnosti delných napätí: $\sigma_n = \sigma_n^*$.

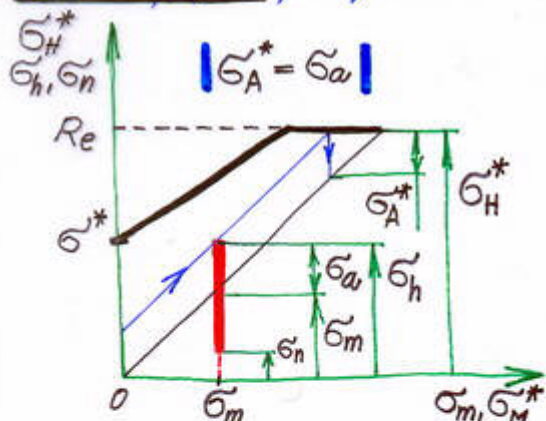


V praxi pôjde o pevnostnú limit. spojovacích strúctiek s predpätím, kedy je strukt. spoj. zaťaž. miznúcou silou. Dolné nap. σ_n predstavuje predpätie, ktoré sa vytvorí pri montáži.

Hľadané hodnoty σ_H^* a σ_A^* odčítame zo Smithovho diagr. alebo stanovíme na základe

výpočtmi: $\sigma_H^* = \frac{(1+\psi^*) \cdot \sigma_n + 2\sigma_c^*}{1+\psi^*}; \quad \sigma_A^* = \frac{\sigma_c^* - \psi^* \cdot \sigma_n}{1+\psi^*};$

ŠTVRTÝ prípad predpokladá rovnosť amplitúd: $\sigma_A^* = \sigma_a$



Táto podobnosť vychádza z predpokl. že nosný prierez strojovej súčiastky je za prevádzky vystavený stálemu striedavému symetrickému nap. so superponovanou statickou zložkou, ktorá sa môže meniť.

Hľadanú hodn. σ_H^* odčítame zo Smithovho diagr. alebo vypoč. na

základe vzťahu: $\sigma_H^* = \frac{\sigma_c^* - (1-\psi^*) \cdot \sigma_a}{\psi^*}.$

Naznačenými postupmi stanovíme súčin bezpečností k_H a k_a , v prípade, že vypočítaná hodnota $\sigma_H^* > R_e$ uvažuje sa $\sigma_H^* = R_e$.

V príp., že súč. je zaťaž. normálovým a šmykovým nap., výsledná dynam. bezpečn. sa stanoví na zákl. vzťahu:

$k = \frac{k_\sigma \cdot k_\tau}{\sqrt{k_\sigma^2 + k_\tau^2}};$