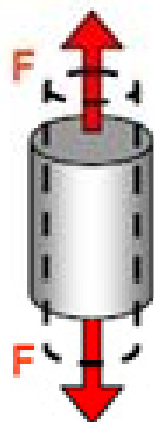
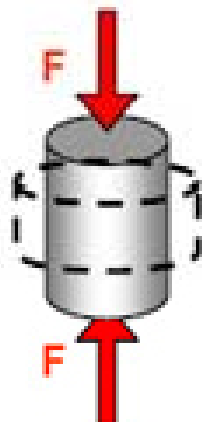


Врсте оптерећења

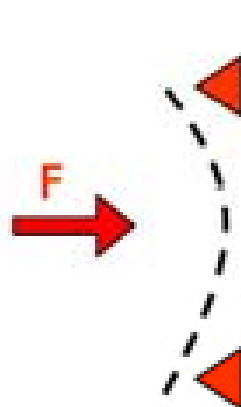
zatezanje



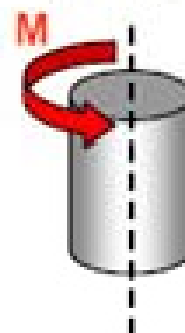
pritisak



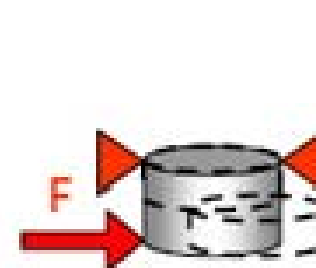
savijanje



uvijanje
(torzija)



smicanje



izvijanje



Оптерећење:

- сила (F)
- момент савијања (M)
- момент увијања (T)

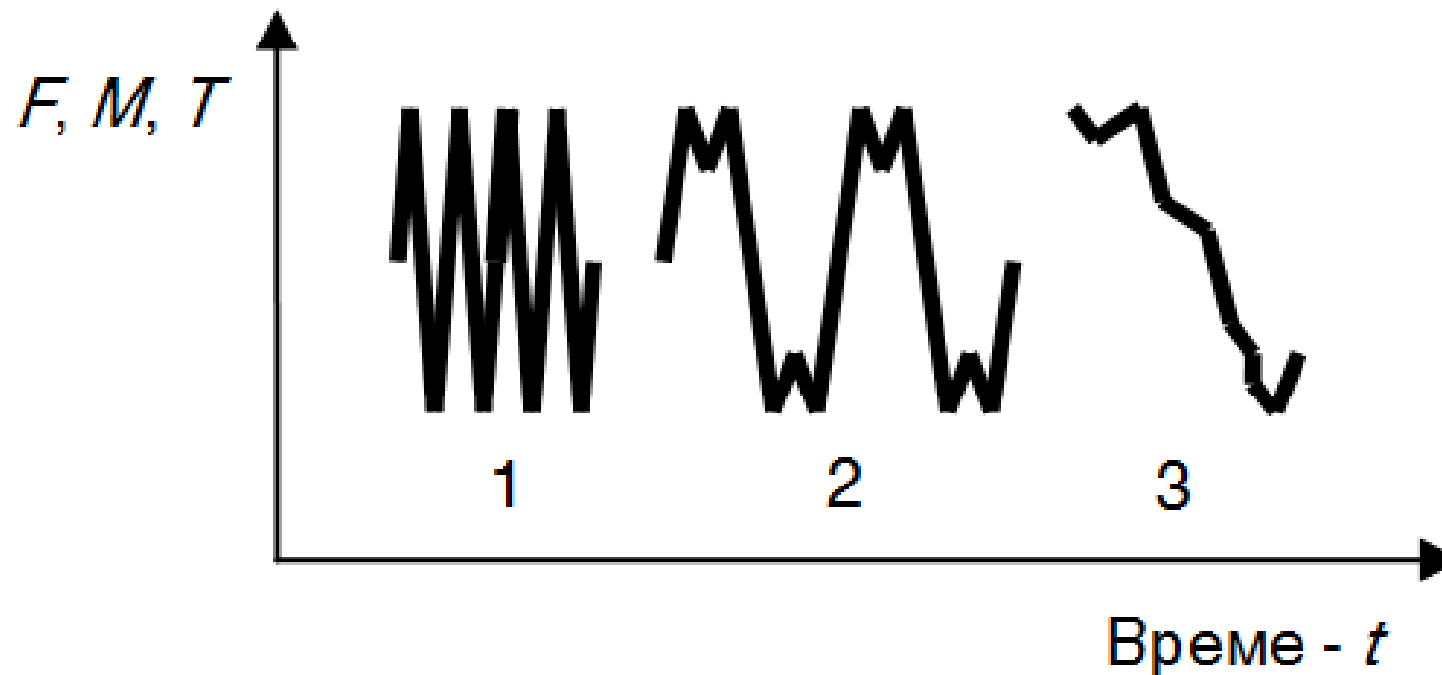
Оптерећења су последица:

- обављања неког корисног рада,
- последица трења,
- последица сопствене тежине елемената и њихових инерцијалних сила

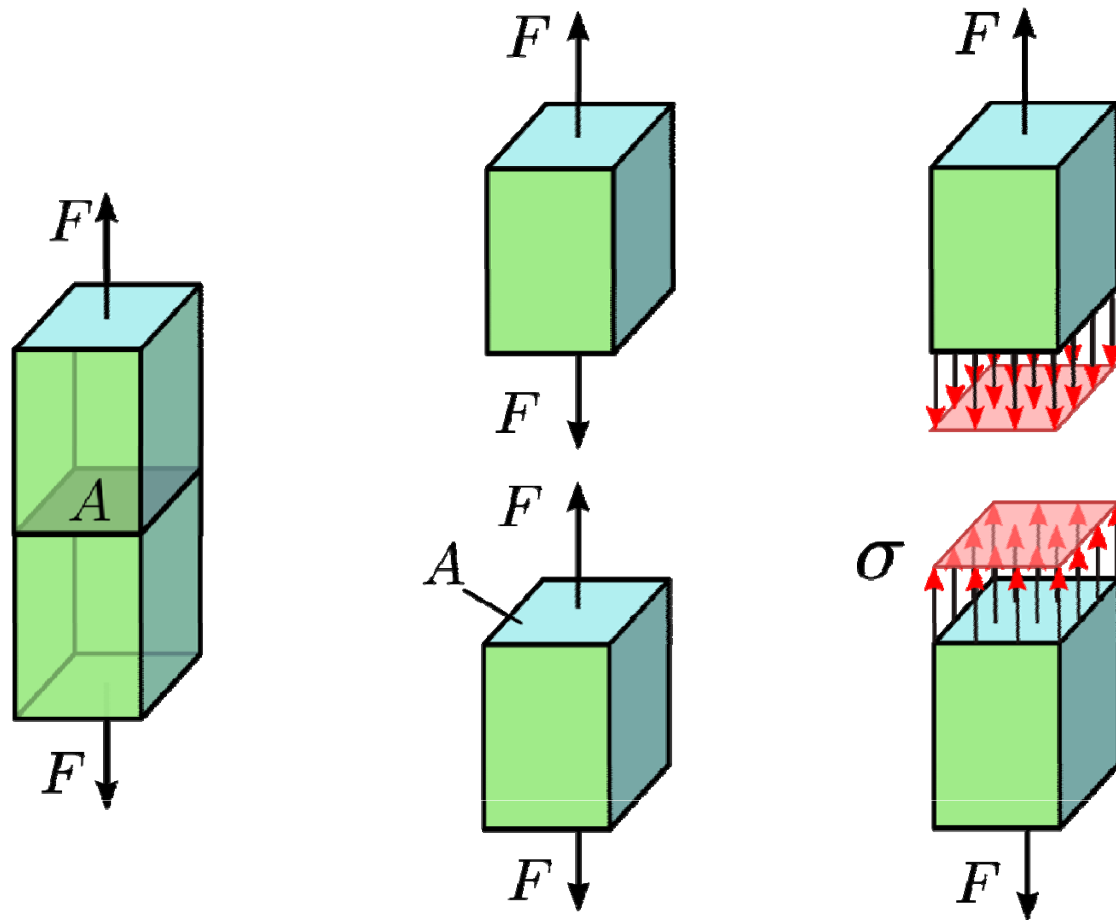
■ Статичка оптерећења



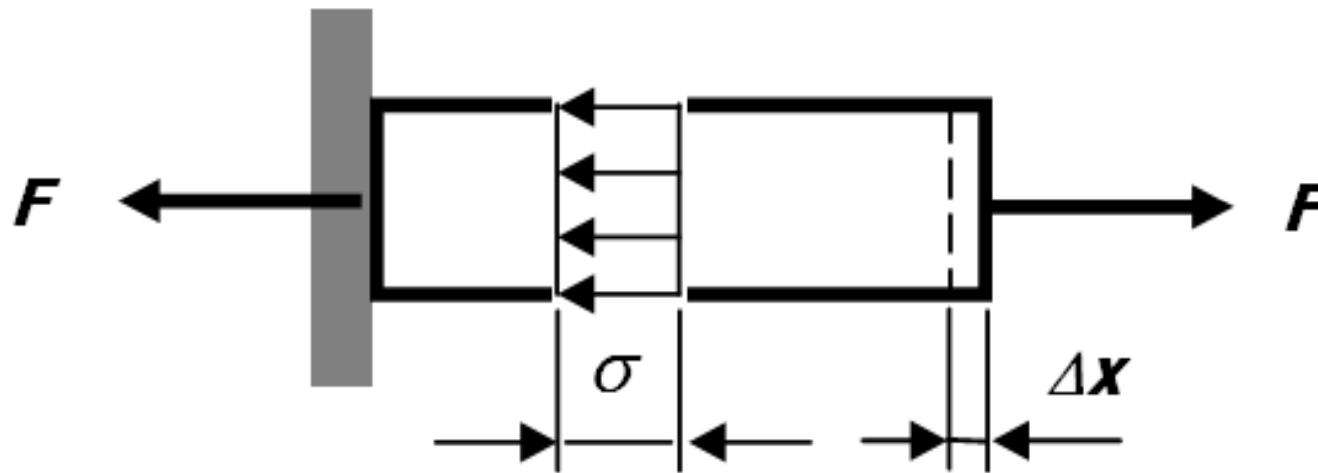
■ Динамичка оптерећења



■ **Напони** - унутрашње силе којима се материјал супротставља деформисању



■ **Деформације** - промена димензија оптерећеног дела



- **Хуков закон** – дефинише величину деформације у области пропорционалности

$$\sigma = \varepsilon E$$

σ - напон у материјалу,

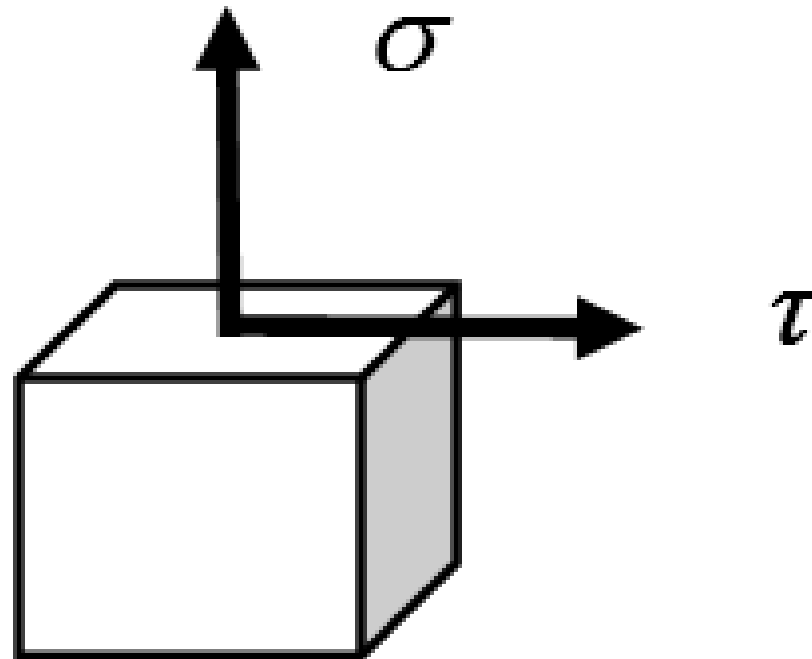
ε - јединично издужење

($\varepsilon = \Delta l / l$, Δl – издужење, l - укупна дужина),

E - модул еластичности

■ Нормални напони - σ

■ Тангентни напони - τ



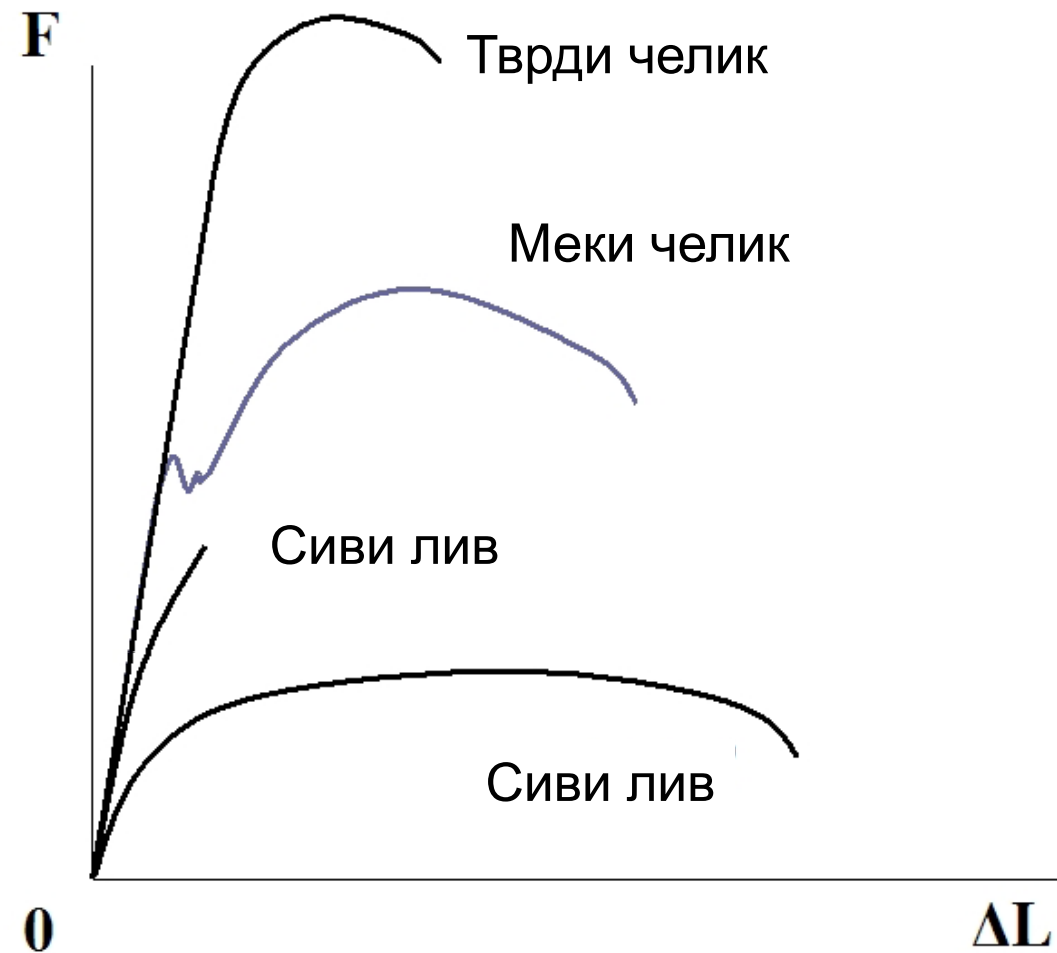
Табела: Шематски приказ карактеристичних начина оптерећења

Начин оптерећења	Шема	Напон
Затезање		$\sigma = \frac{F}{A}$
Сабијање		$\sigma = \frac{F}{A}$
Извијање		$\sigma = \frac{F}{A}$
Савијање		$\sigma = \frac{M}{W}$
Увијање		$\tau = \frac{T}{W_p}$
Смицање		$\tau = \frac{F}{A_s}$
Притисак		$P = \frac{F}{A_p}$

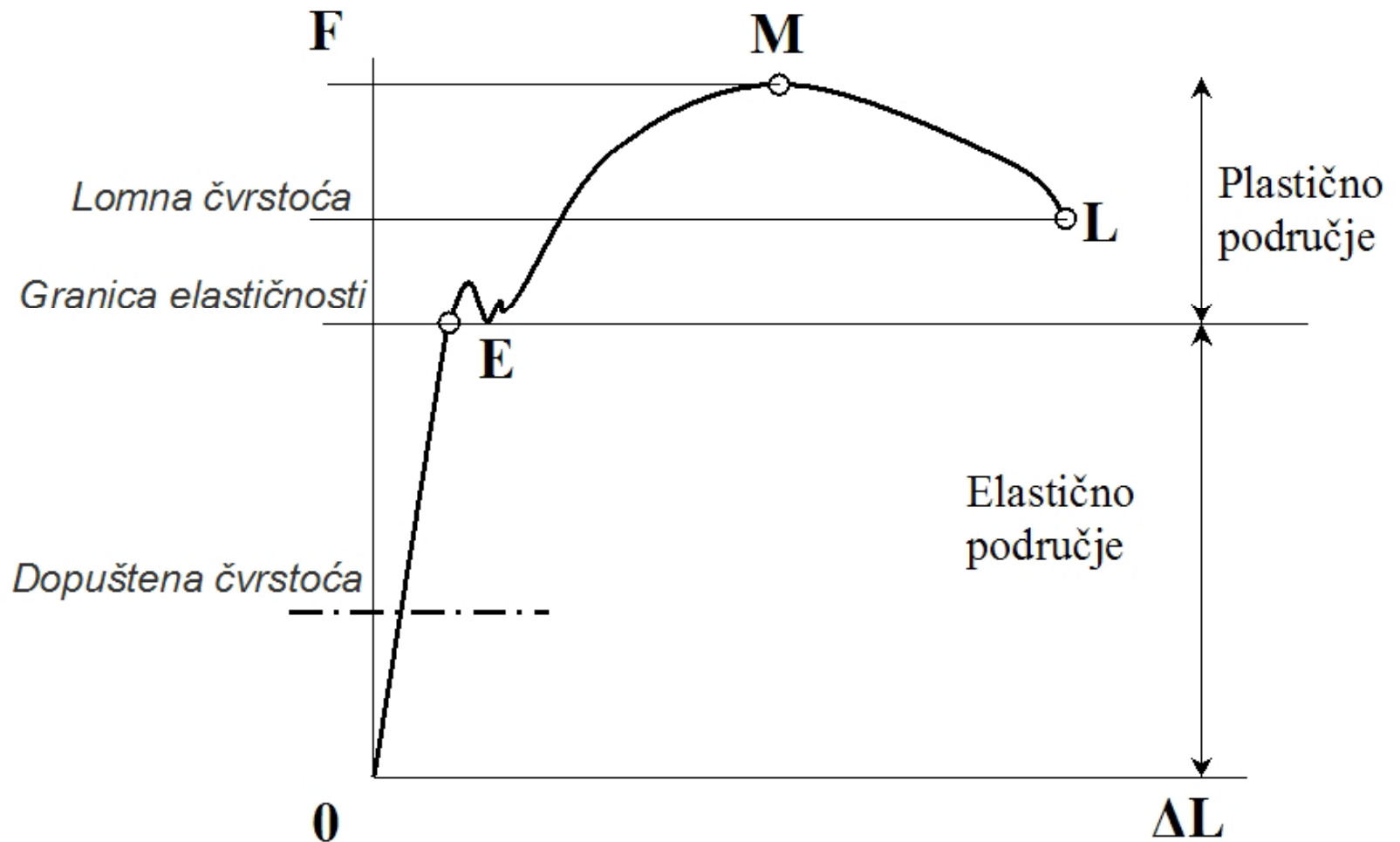
- Чврстоћа (издржљивост)
- Тврдоћа
- Крутост
- Еластичност
- Пластичност
- Жилавост
- Кртост

Карактеристике запреминске чврстоће материјала при статичком оптерећењу

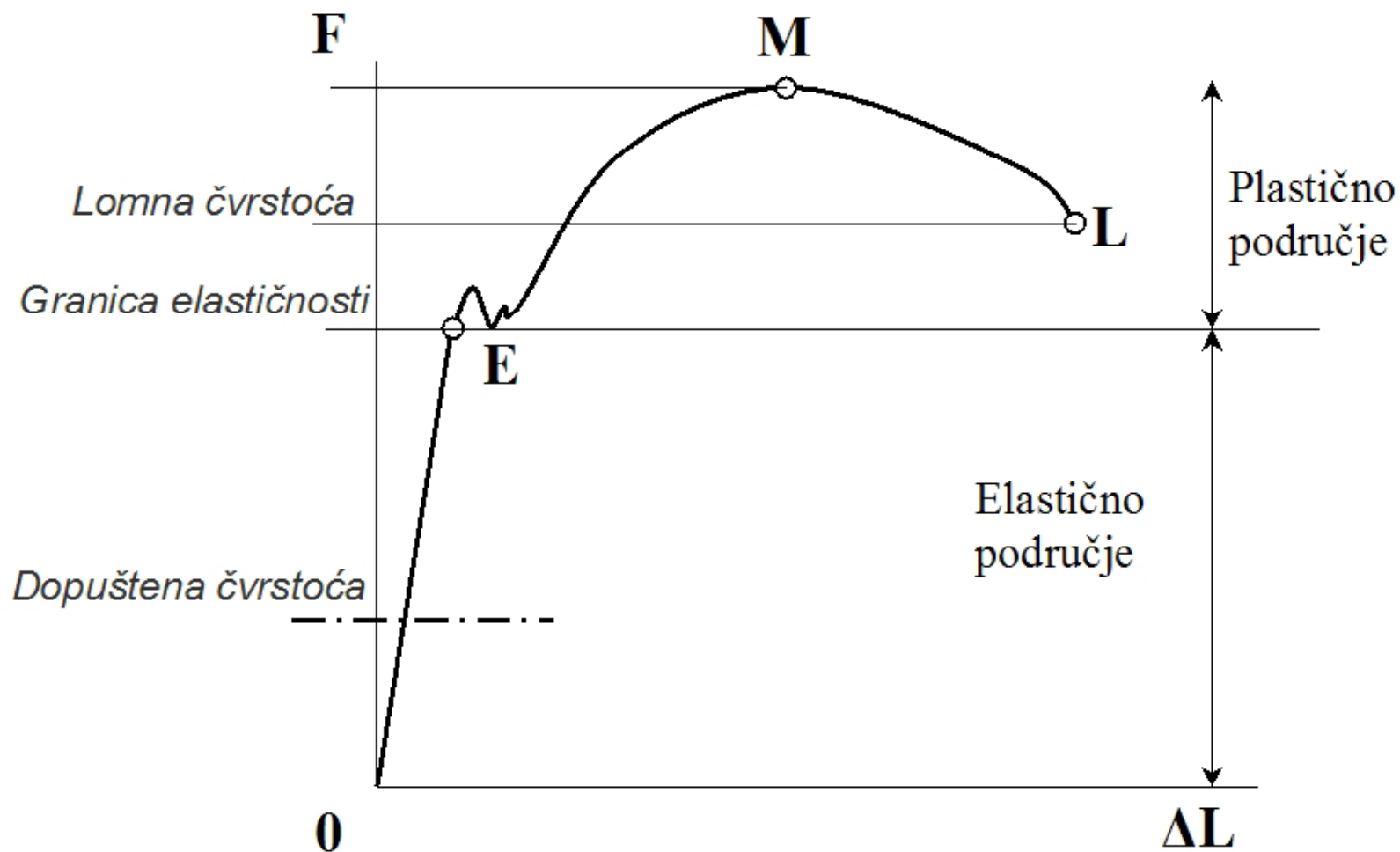




■ крива еластичности, $F = f(\Delta l)$, $\sigma = f(\varepsilon)$



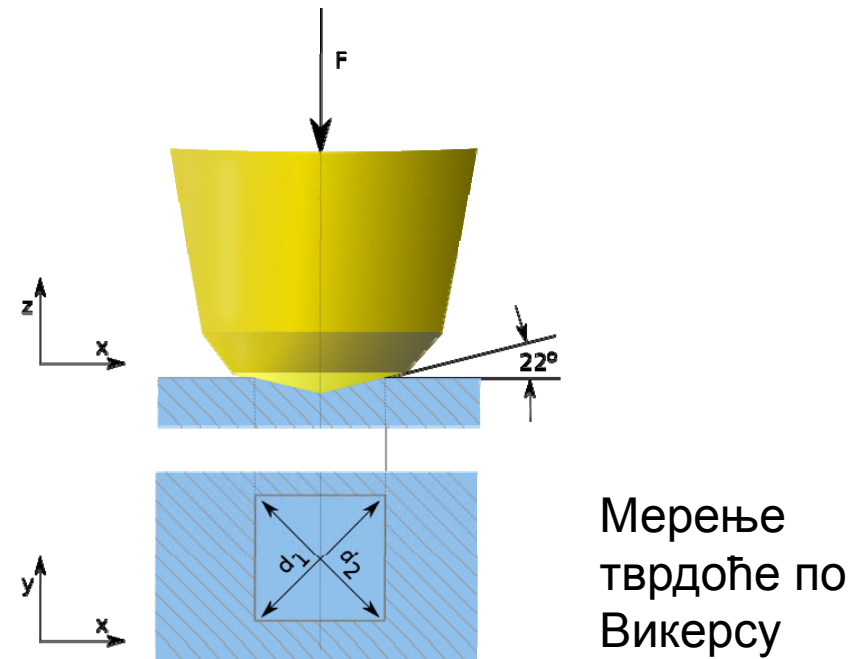
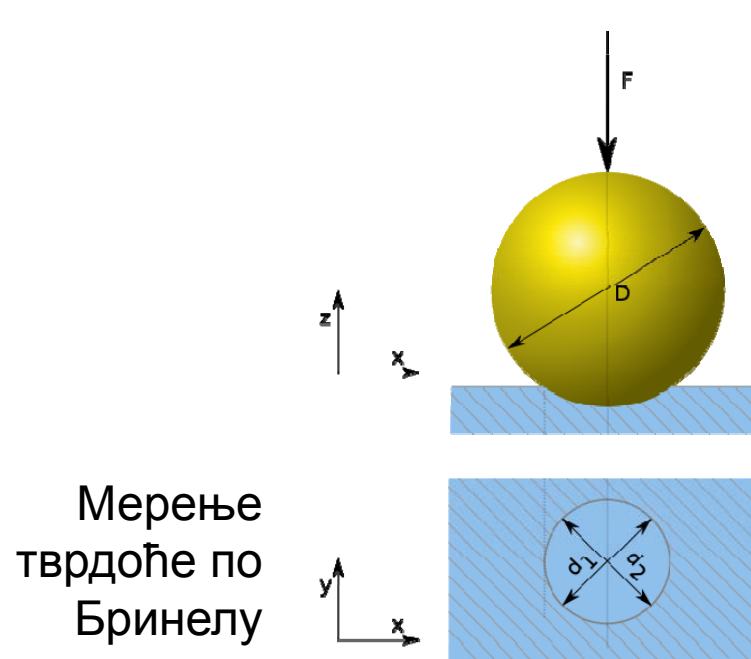
■ Граница развлачења (граница течења), R_{eH} , R_p , $R_{p0,2}$



■ Граница кидања (затезна чврстоћа), R_m

Карактеристике површинске чврстоће материјала при статичком оптерећењу

Површинска чврстоћа материјала, при статичком оптерећењу, одређена је његовом тврдоћом, која се обично дефинише по Бринелу (HB), Роквелу (HRB или HRC) и Викерсу (HV).



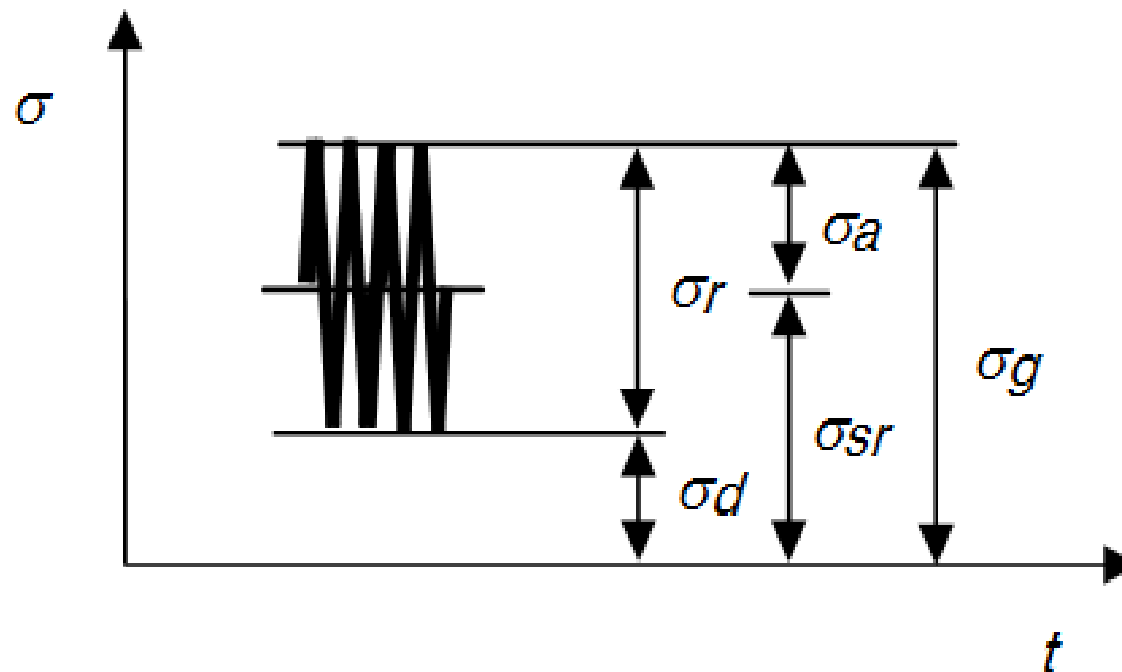


Машина за испитивање тврдоће по Роквелу

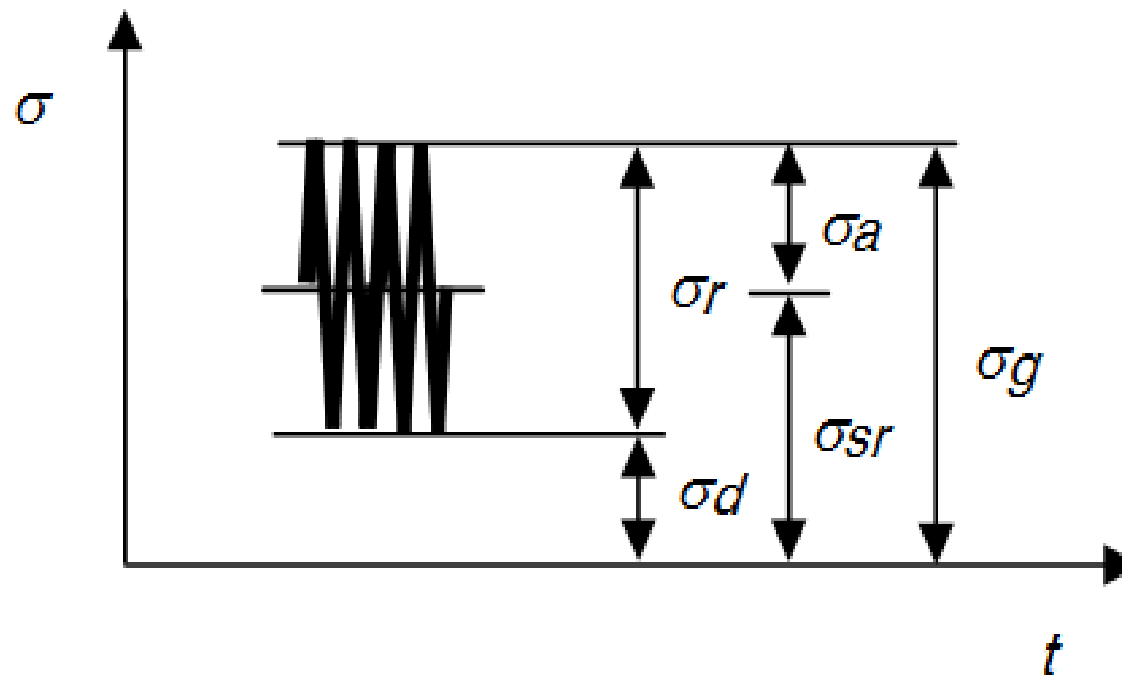


Машина за испитивање тврдоће по Викерсу

Епрувете се испитују при устаљеном динамичком оптерећењу, које узрокује одговарајуће напоне у материјалу, који се могу приказати у виду синусоиде.



Графички приказ промене напона
у материјалу



Највећи напон

$$\sigma_g = \sigma_{max}$$

ОДНОСНО

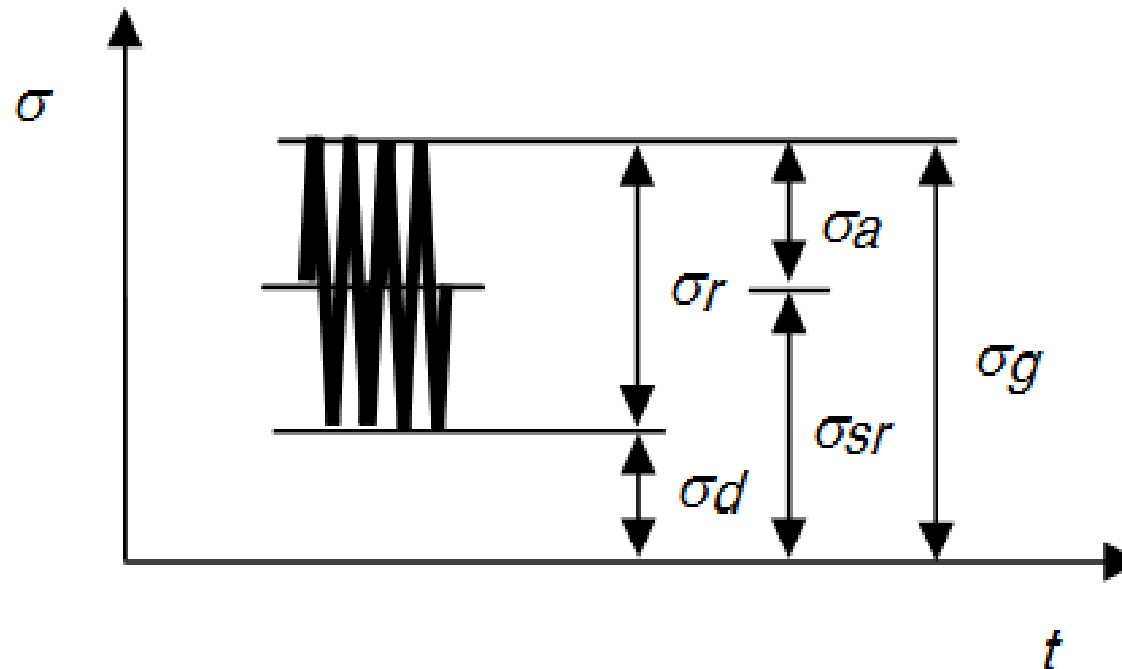
$$\tau_g = \tau_{max}$$

Најмањи напон

$$\sigma_d = \sigma_{min}$$

ОДНОСНО

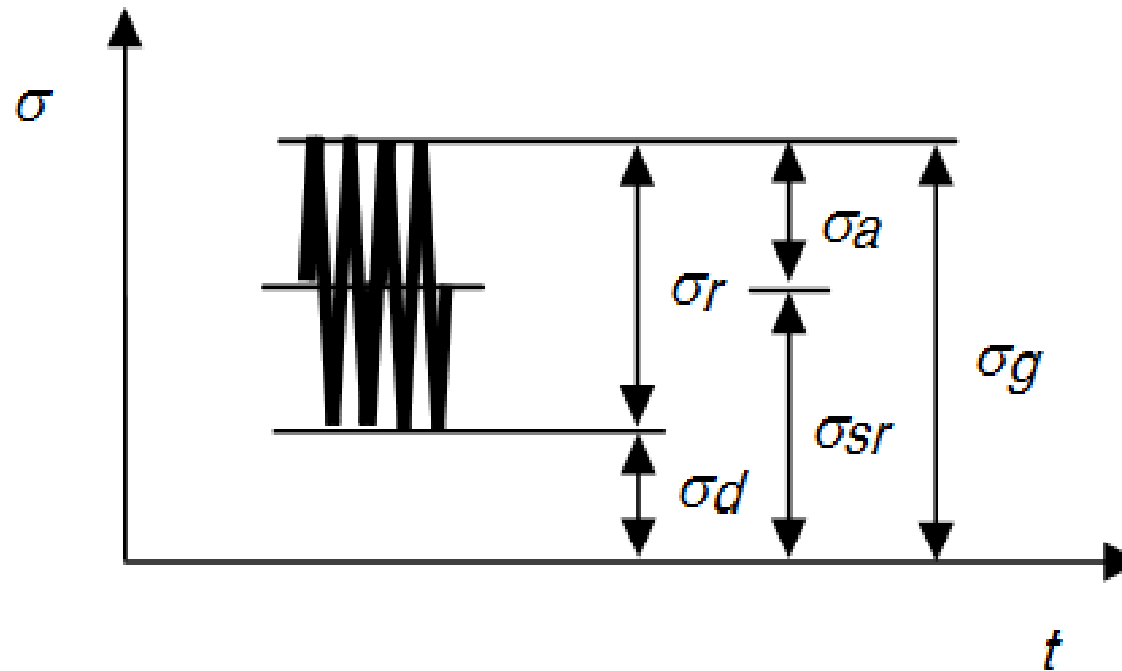
$$\tau_d = \tau_{min}$$



Средњи напон

$$\sigma_{sr} = \frac{\sigma_g + \sigma_d}{2}$$

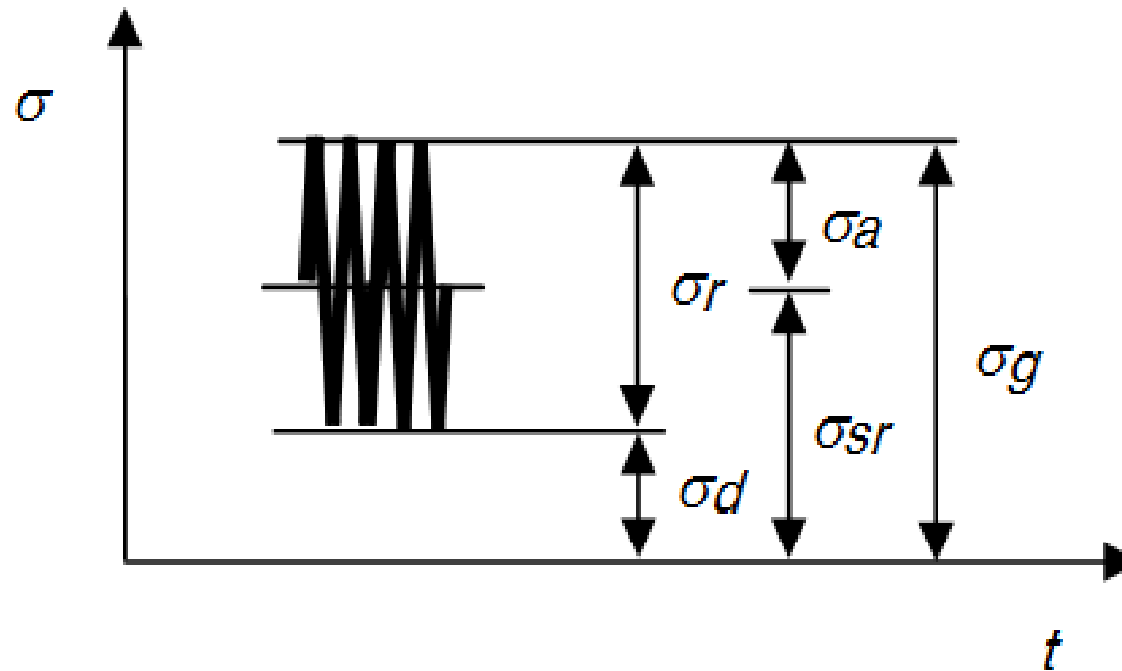
$$\tau_{sr} = \frac{\tau_g + \tau_d}{2}$$



$$\sigma_a = \frac{\sigma_g - \sigma_d}{2}$$

Амплитудни напон

$$\tau_a = \frac{\tau_g - \tau_d}{2}$$

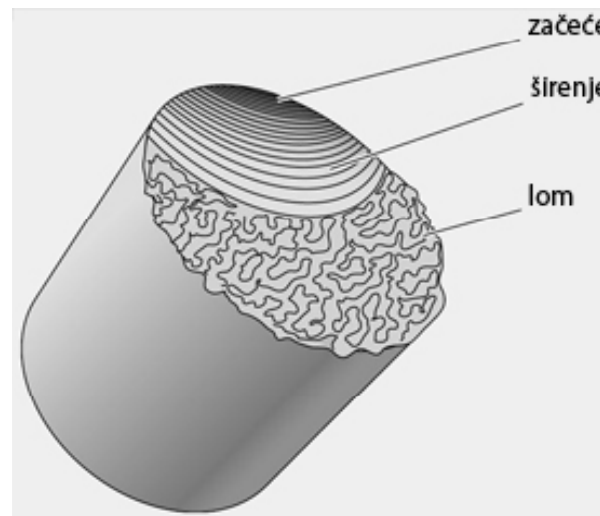
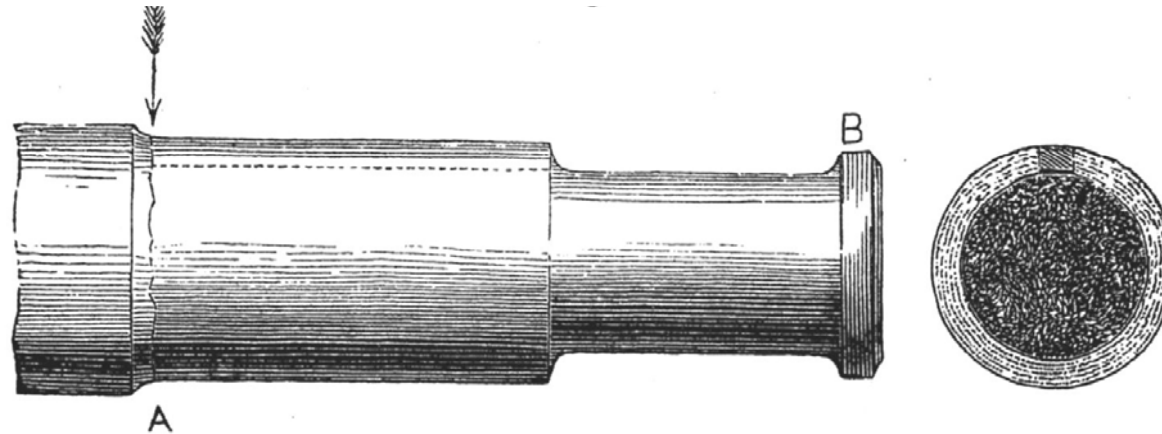


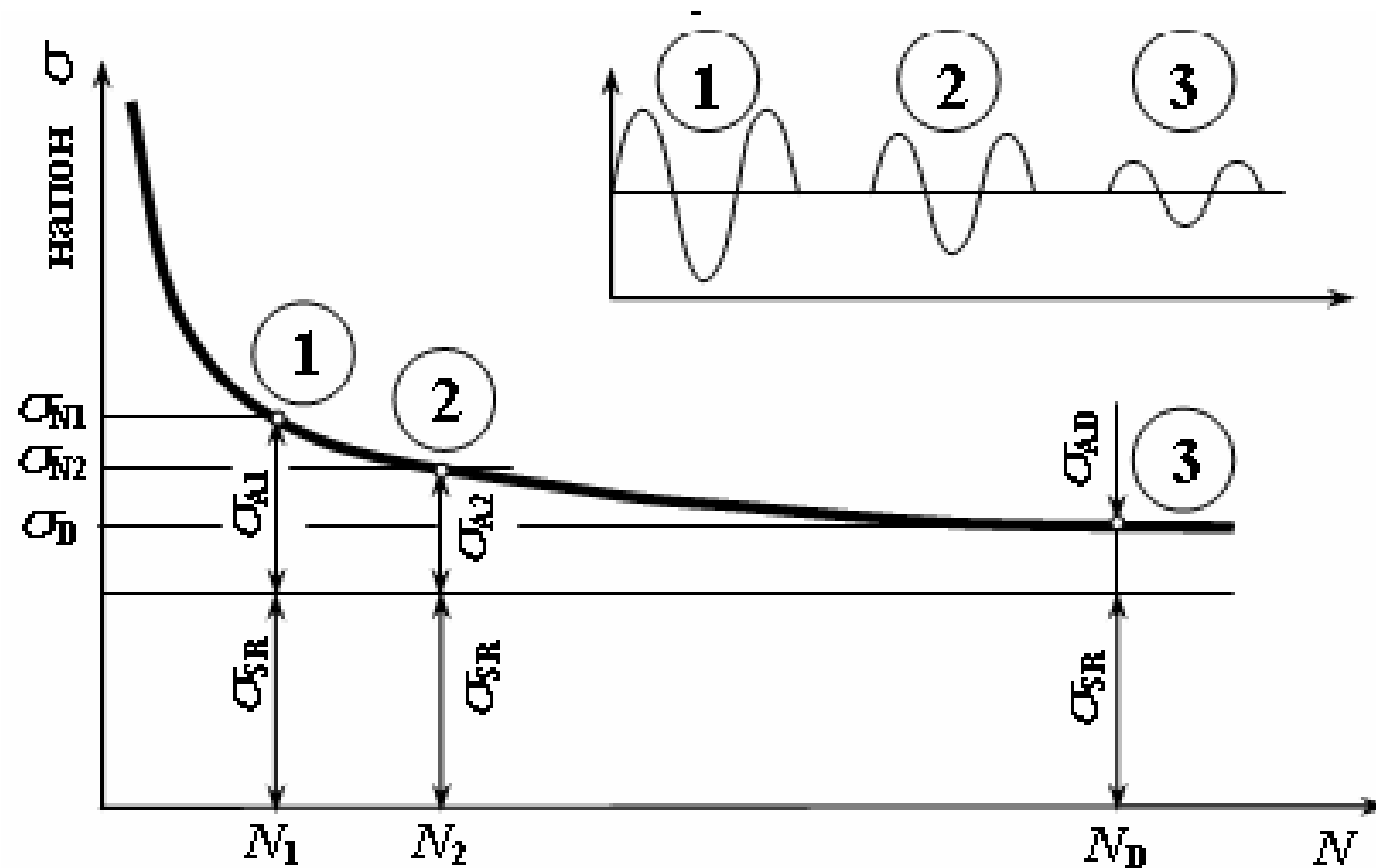
Распон напона

$$\sigma_r = 2\sigma_a = \sigma_g - \sigma_d$$

$$\tau_r = 2\tau_a = \tau_g - \tau_d$$

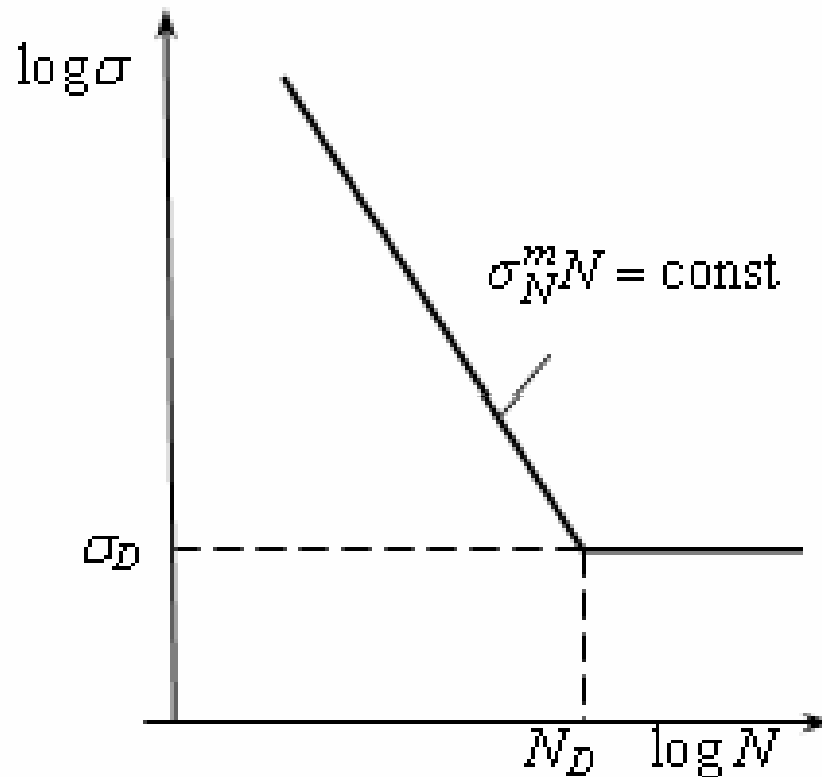
Карактеристике запреминске чврстоће материјала при динамичком оптерећењу





Велерова крива (крива замора)

Експериментима је установљено да разарање материјала зависи од величине напона и броја промена оптерећења.

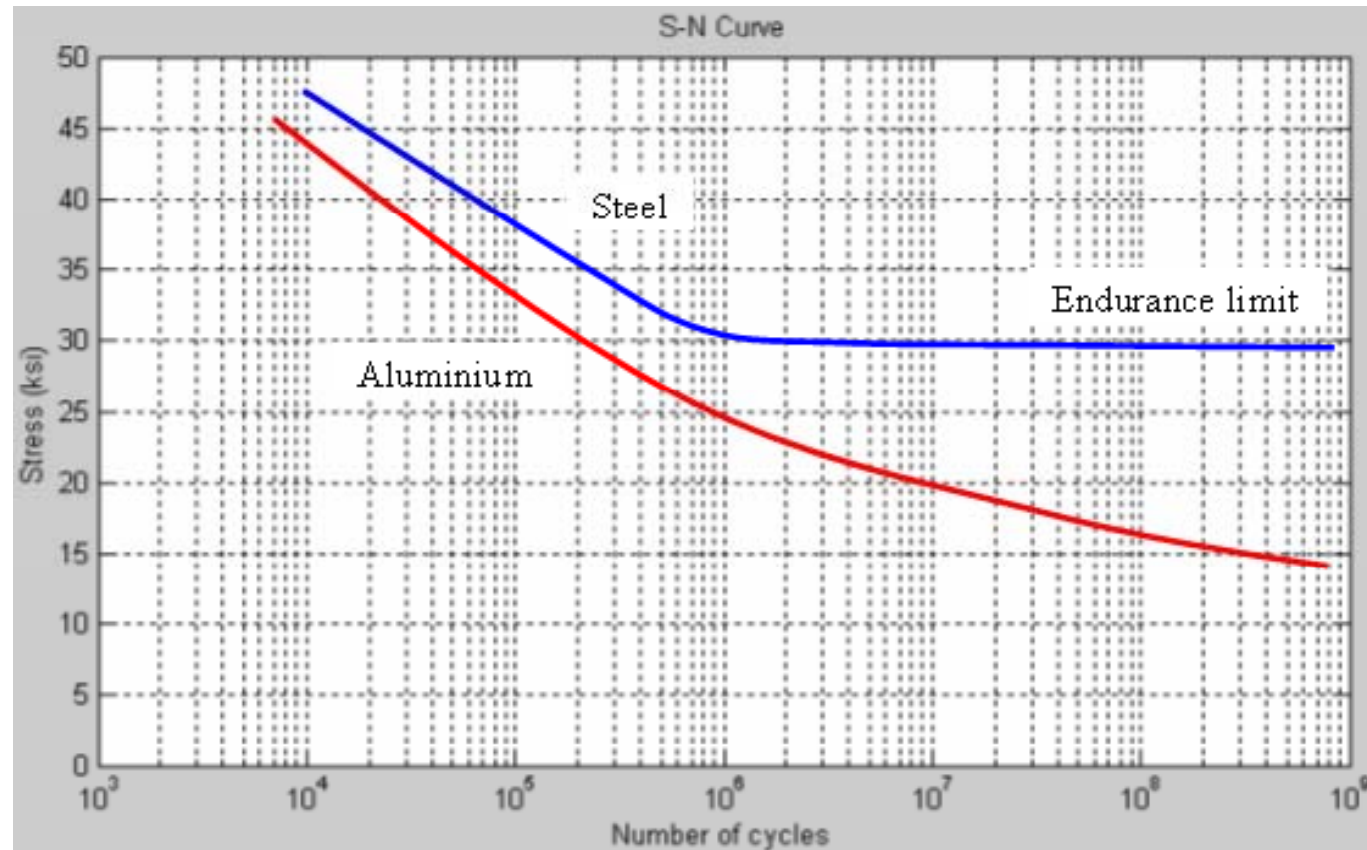


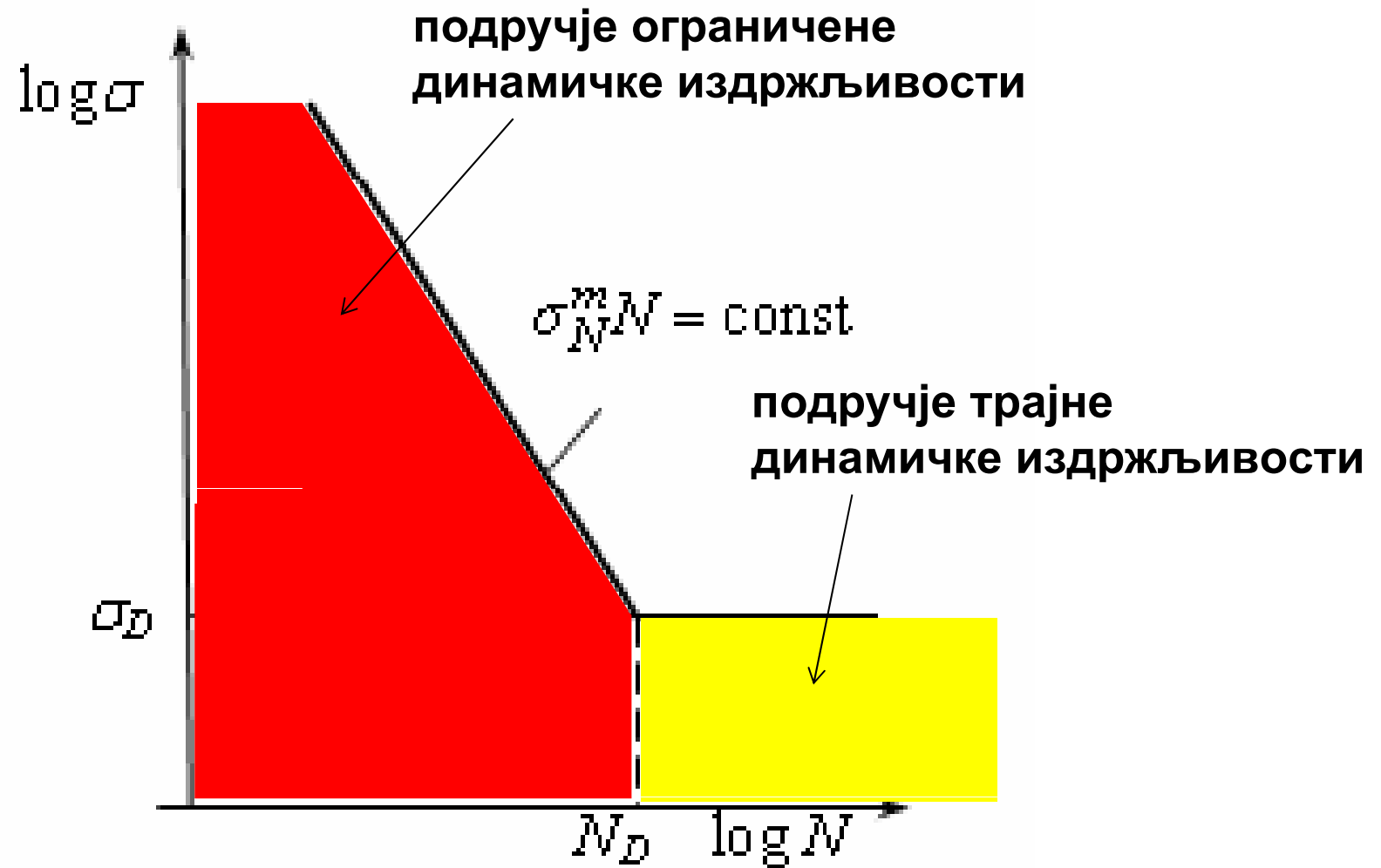
■ Динамичка издржљивост (динамичка чврстоћа) (σ_D , τ_D)

је највећи напон који трајно може да пренесе епрувета (без лома) при неограниченом броју циклуса.

■ Динамичка издржљивост зависи од врсте материјала, врсте напона и карактеристике циклуса промене напона.

Гранични број циклуса (N_D) представља најмањи број циклуса после кога, при напону σ_D , не долази до лома епрувете. За обичне конструкционе челике он износи 10^7 циклуса, док је за обојене метале он знатно већи.

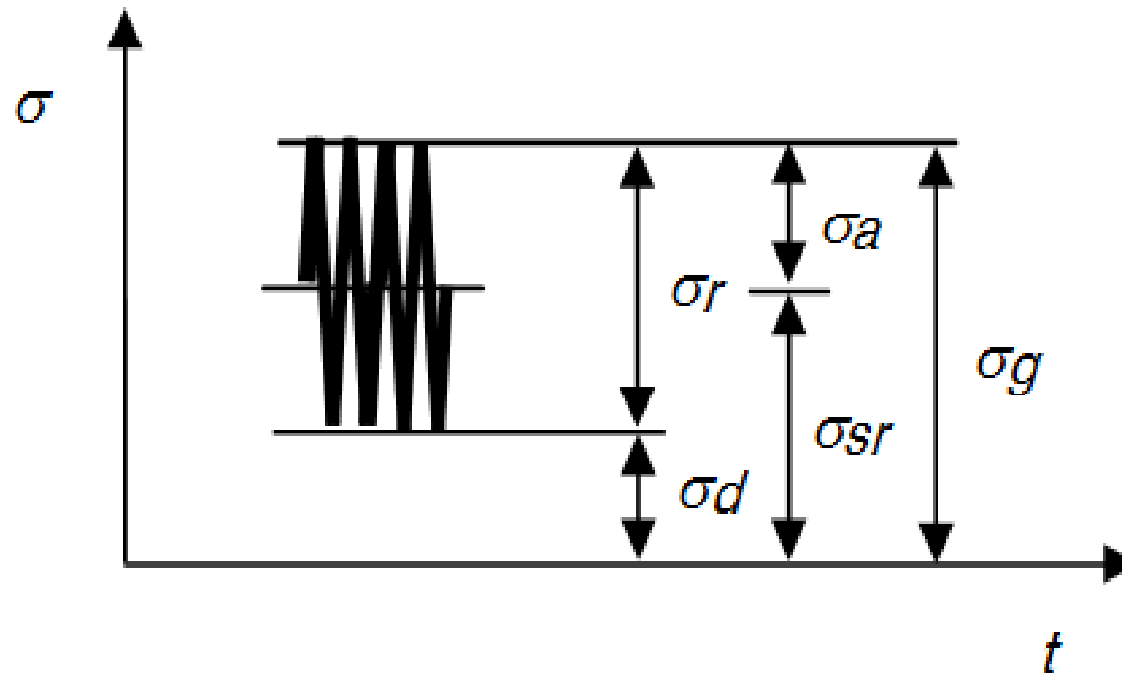




Коефицијент асиметрије циклуса

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sigma_g}$$

$$R_{\tau} = \frac{\tau_d}{\tau_g}$$



Коефицијент асиметрије циклуса

$$R_{\sigma} = \frac{\sigma_d}{\sigma_g}$$

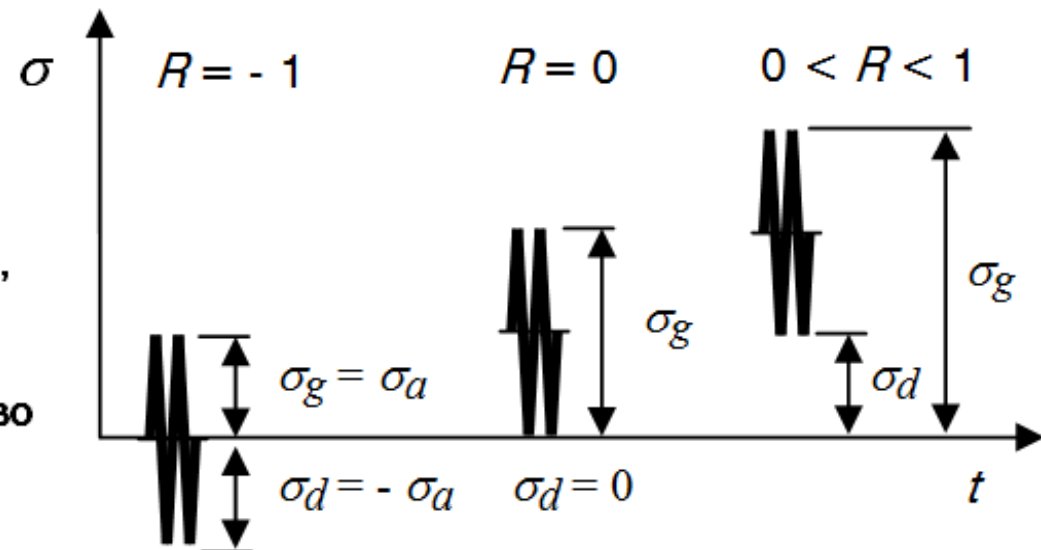
$$R_{\tau} = \frac{\tau_d}{\tau_g}$$

Приказ карактеристичних промена напона

$R = -1$ - наизменично променљиво,

$R = 0$ - једносмерно променљиво почетно и

$0 < R < 1$ - једносмерно променљиво



Прорачун машинских елемената



Основни показатељи радне способности су:

- чврстоћа,
- крутост,
- отпорност на хабање,
- отпорност на повишене вибрације и
- отпорност на повишене температуре.

Чврстоћа - својство машинских елемената да се супротставе деловању спољашњих оптерећења, при чему се искључује могућност појаве опасних деформација, ломова, површинског разарања и сл.

Потребно је веома тачно утврдити:

- експлоатационе услове,
- врсту,
- карактер и
- величину оптерећења,

јер од тих параметара директно зависи чврстоћа.

Са становишта карактера оптерећења разликује се:

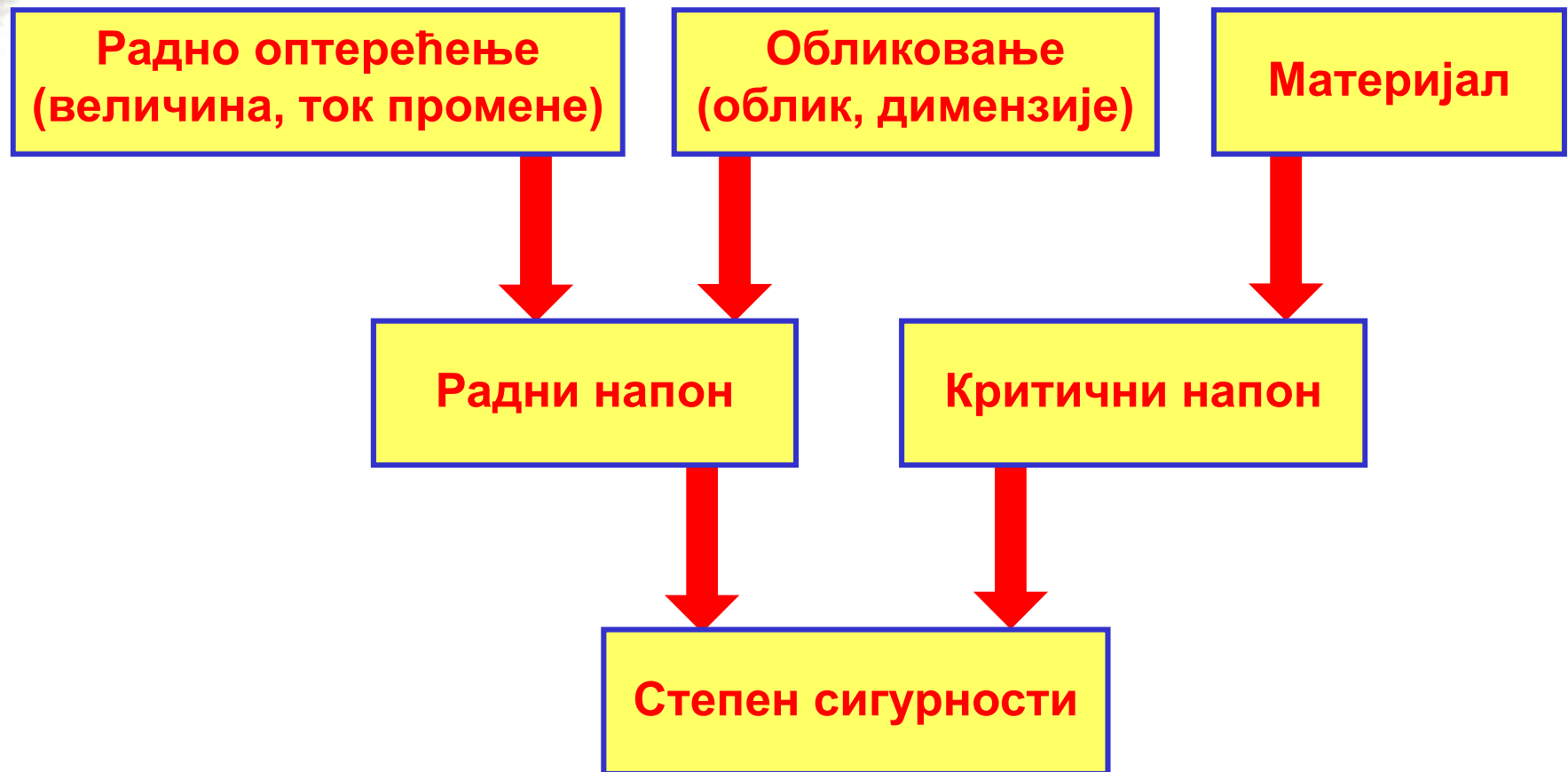
■ **Стварно оптерећење** - оптерећење којем је изложен посматрани елемент у току експлоатације.

■ **Рачунско оптерећење** - оптерећење са којим се рачуна да је елемент оптерећен у току експлоатације. То оптерећење би требало да буде једнако стварном оптерећењу, међутим, услед грешака при процени оптерећења, оно се, при прорачуну, намерно незнатно повећава како би се повећала сигурност прорачуна.

■ **Називно (номинално) оптерећење** - прописано оптерећење, при чему његова вредност може бити једнака или мања од рачунске.

■ **Критично оптерећење** - оптерећење при којем долази до разарања машинског елемента. Његова вредност је обично за степен сигурности већа од рачунског оптерећења.

■ **Дозвољено оптерећење** - оптерећење са којим се трајно сме оптеретити посматрани елемент. Оно је обично једнако називном оптерећењу, односно, за степен сигурности мање од критичног оптерећења.



Ток прорачуна носивости

Прорачун чврстоће машинских елемената:

- претходни прорачун и,
- завршни прорачун.

Претходним прорачуном се, на основу дозвољених напона, одређују потребне димензије машинских елемената. Претходни прорачун је само оријентациони прорачун, на основу којег се започиње конструкција и, након дефинисања коначног облика и димензија елемената, спроводи завршни прорачун.

При прорачуну чврстоће машинских елемената радни напони морају бити мањи, или једнаки, дозвољеним тј. морају бити задовољени следећи захтеви:

$$\sigma \leq \sigma_{doz}$$

$$\tau \leq \tau_{doz}$$

$$\sigma_i \leq \sigma_{doz}$$

σ , τ , σ_i - рачунски напони који владају у материјалу. Њихова вредност зависи од величине оптерећења, начина дејства оптерећења и димензије елемента.

σ_{doz} , τ_{doz} - дозвољени напони, тј. напони при којима сигурно не долази до разарања дотичног материјала.

Дозвољени напони се одређују на основу критичних напона за усвојени материјал, утврђеног начина промене напона и усвојеног минималног степена сигурности:

$$\sigma_{doz} = \frac{\sigma_K}{S_{\sigma min}}$$

$$\tau_{doz} = \frac{\tau_K}{S_{\tau min}}$$

σ_K , τ_K - критични напони при којима долази до разарања материјала (R_{eH} , R_P , $\sigma_{D(R)}$ односно $\tau_{D(R)}$)

$S_{\sigma min}$, $S_{\tau min}$ - минималне вредности степена сигурности при нормалним и тангентним напонима

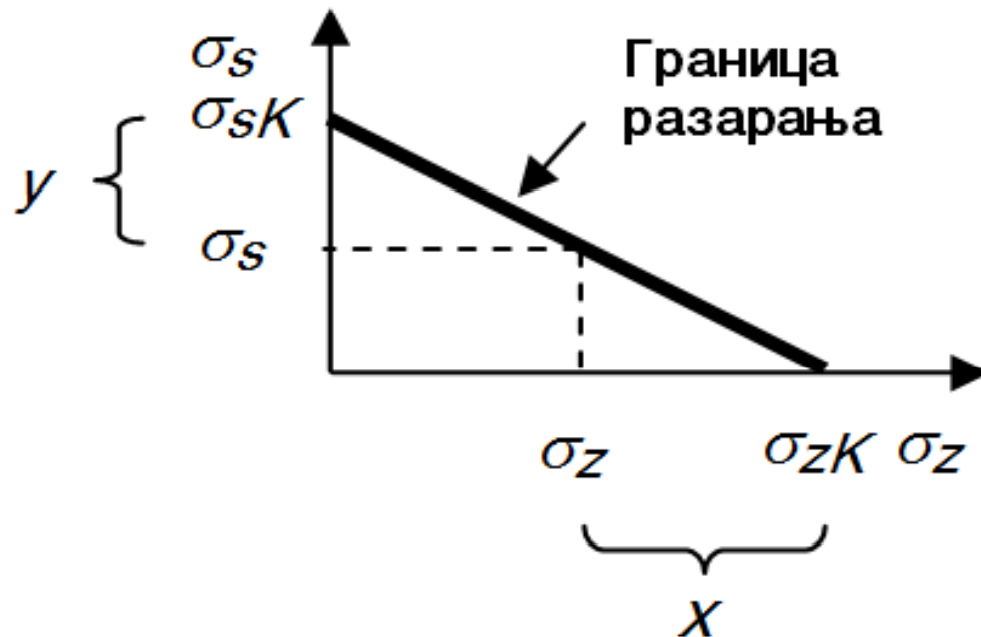
Завршним прорачуном се одређује стварни степен сигурности (S) машинског елемента, чије су коте утврђене разрадом конструкције на основу података добијених претходним прорачуном

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_K}{\sigma} \geq S_{\sigma \min}$$

$$S_{\tau} = \frac{\tau_K}{\tau} \geq S_{\tau \min}$$

S_{σ} , S_{τ} - степени сигурности елемента услед нормалних (σ) и тангентних (τ) напона

Ако су сложени напони састављени од истородних напона вредност сложеног напона израчунава се сабирањем једног напона са еквивалентом другог напона (x):

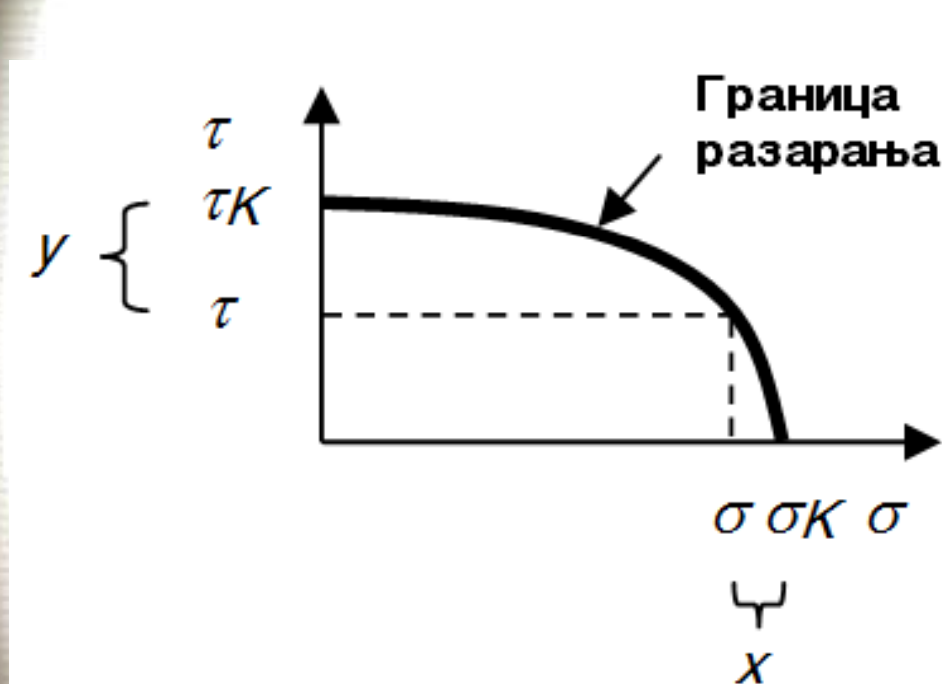


$$\sigma_i = \sigma_z + X = \sigma_z + \frac{\sigma_{zK}}{\sigma_{sK}} \sigma_s$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{S_z} + \frac{1}{S_s}$$

$$S = \frac{S_z S_s}{S_z + S_s} \geq S_{\min}$$

Ако је сложени напон састављен од разнородних (нормалних и тангентних) напона квадрат вредности сложеног напона израчунава се сабирањем квадрата једног напона са квадратом еквивалента другог напона (x)



$$\sigma_i^2 = \sigma^2 + x^2 = \sigma^2 + \left(\frac{\sigma_K}{\tau_K} \right)^2 \tau^2$$

$$\frac{1}{S^2} = \frac{1}{S_\sigma^2} + \frac{1}{S_\tau^2}$$

$$S = \frac{S_\sigma S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} \geq S_{\min}$$

Образац из
отпотности
материјала

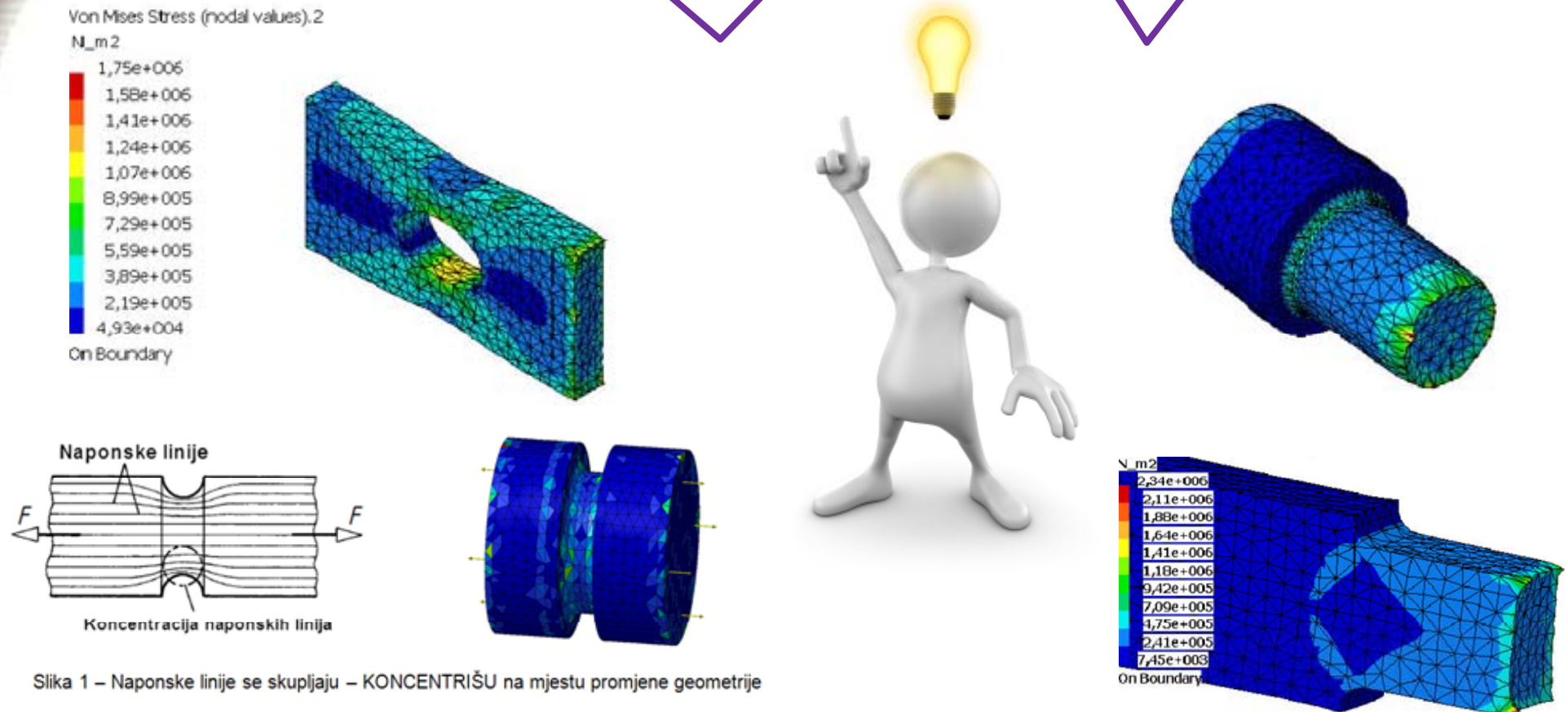
$\neq$

Реални
напони у
материјалу



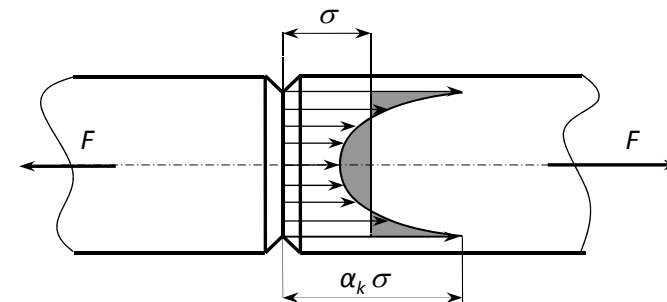
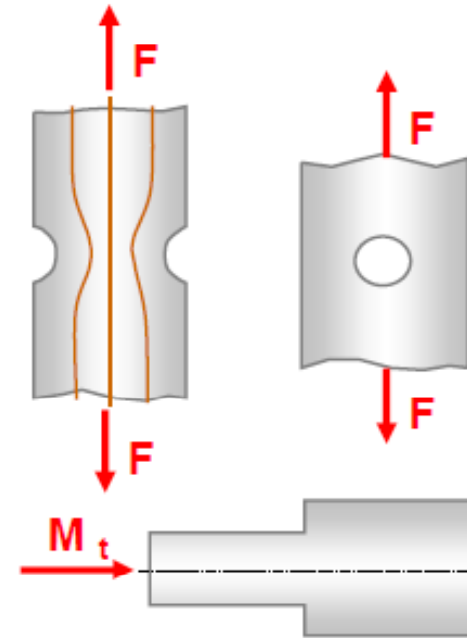
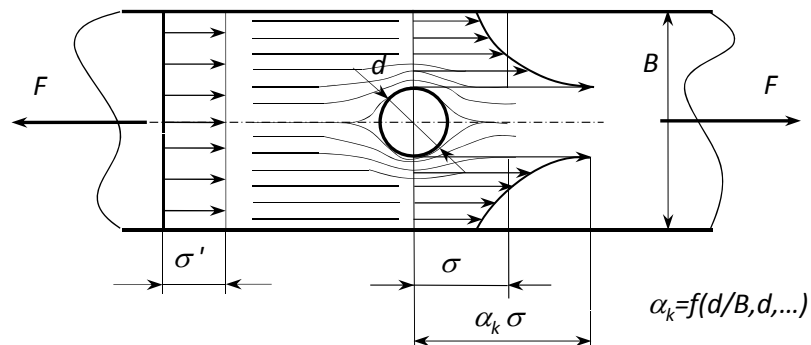
Стварни напони у материјалу
зависе пре свега од облика
машинског елемента

КОНЦЕНТРАЦИЈА
НАПОНА

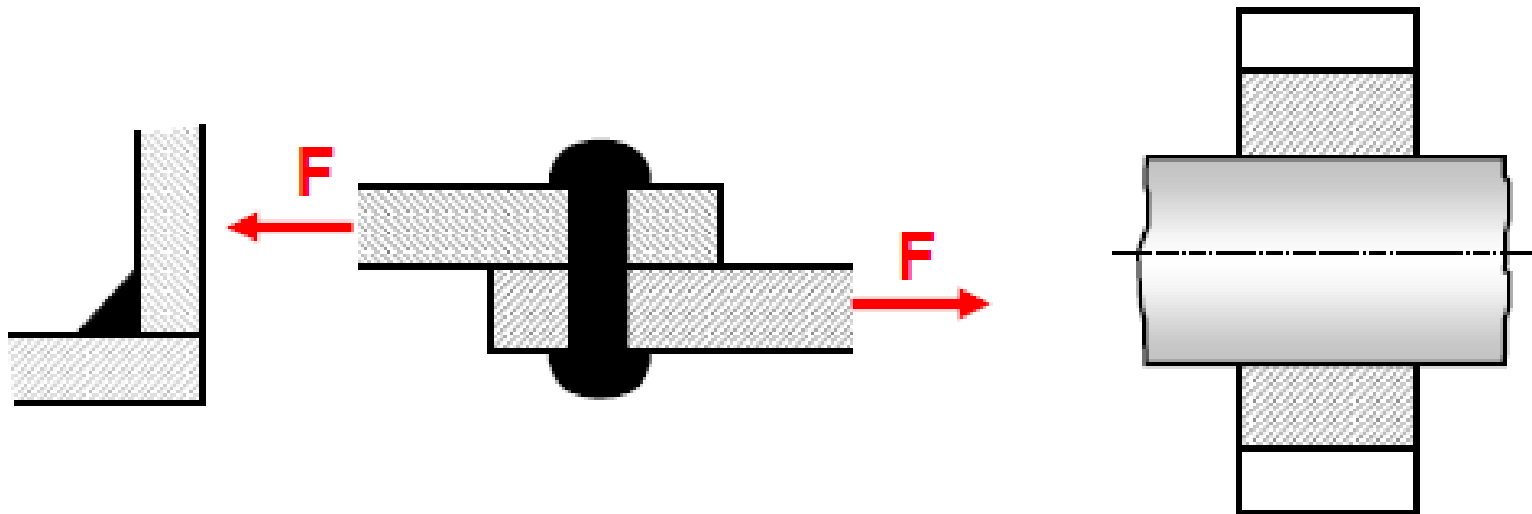


Концентрација напона се јавља на свим оним местима где постоје:

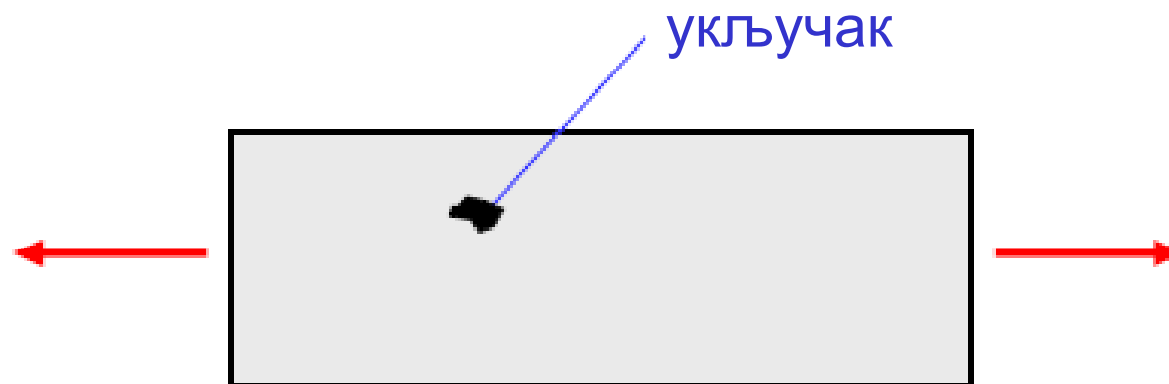
- жлебови,
- отвори,
- зарези,
- промене пречника и сл



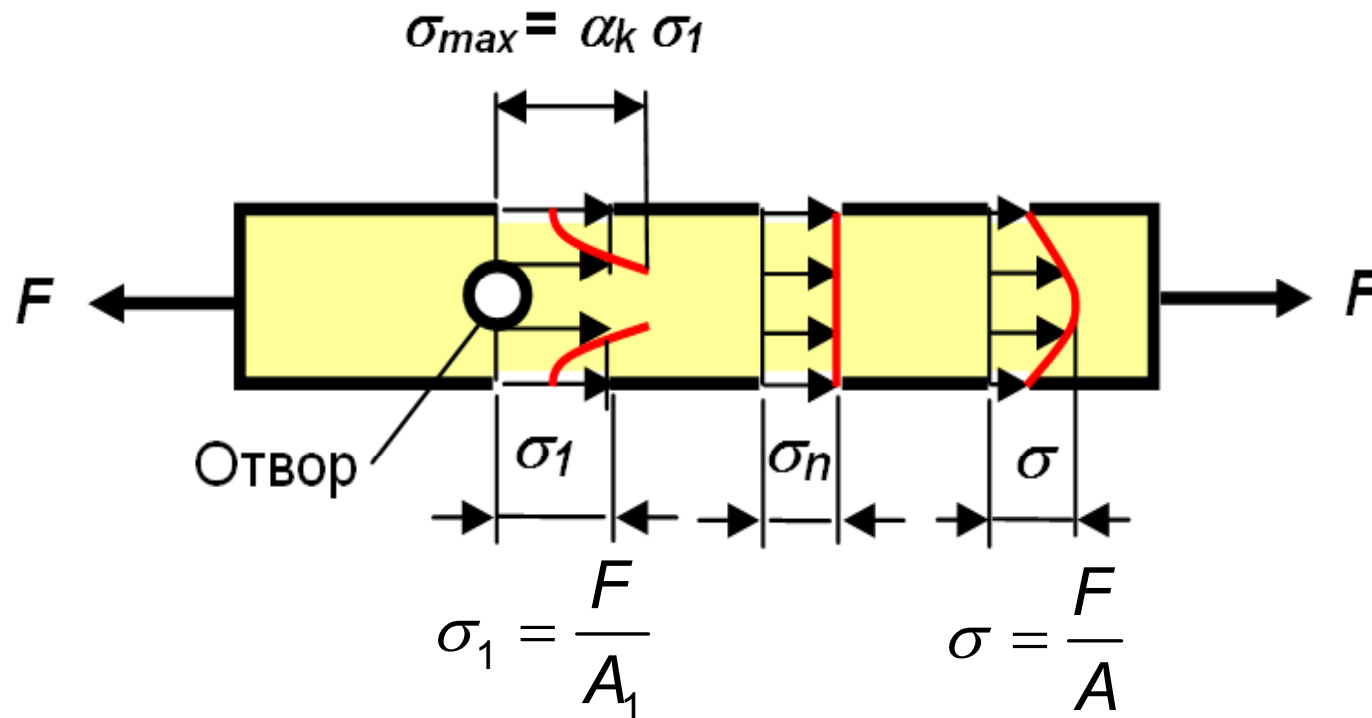
- спојеви,
- пресовани делови,



- оштећења површине (храпавост, огреботине, иницијалне пукотине),
- унутрашња оштећења (шупљине, пукотине, наслаге, укључци).



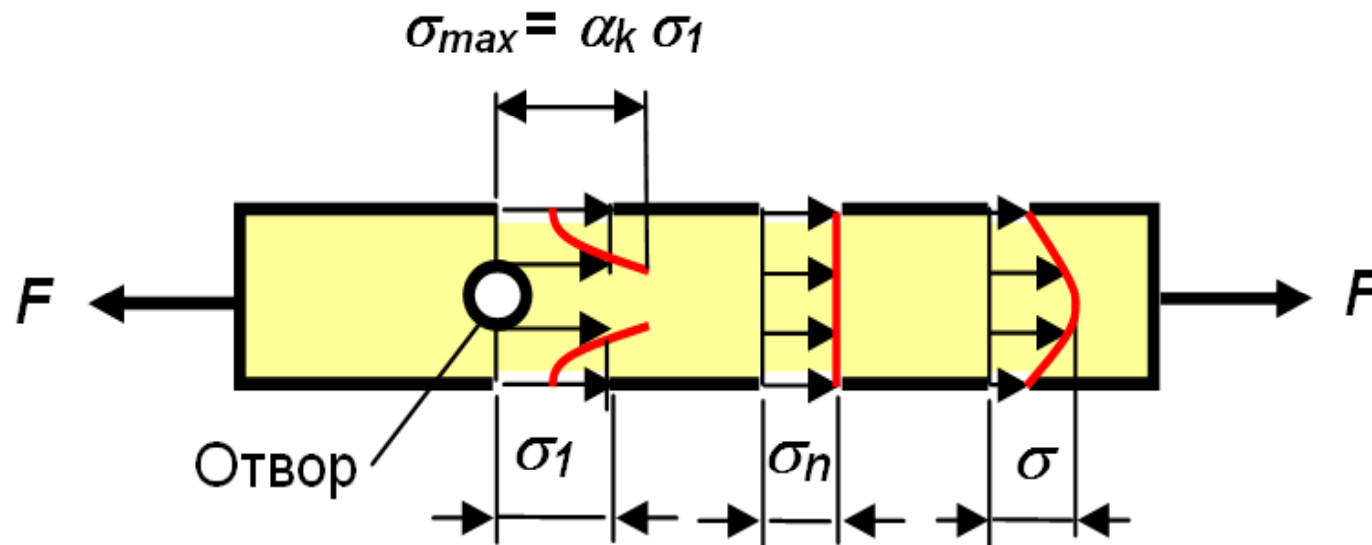
Теоретска и експериментална истраживања показују да се **номинални напони** (σ_n) значајно разликују од **стварних** (σ_{max}) где постоје велики извори концентрације напона.



Геометријски фактор концентрације напона (α_k) -
количник највећег стварног (σ_{max}) и номиналног напона (σ_n)

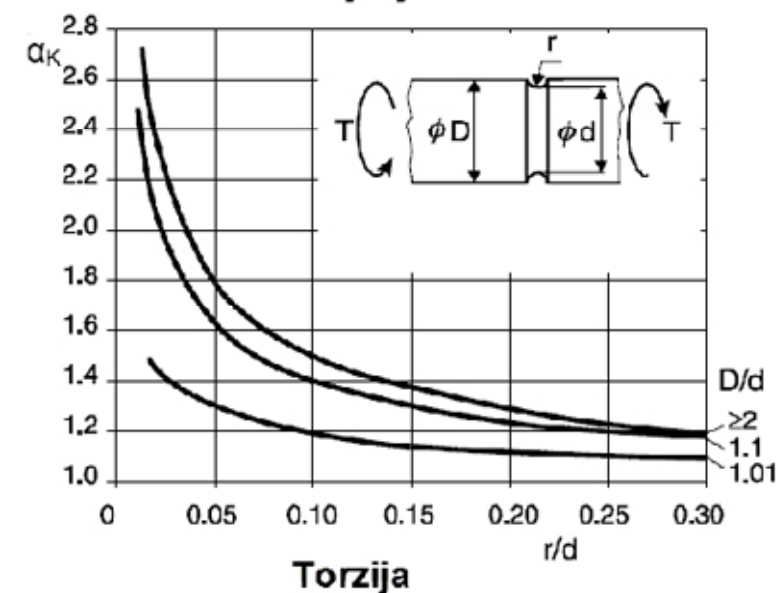
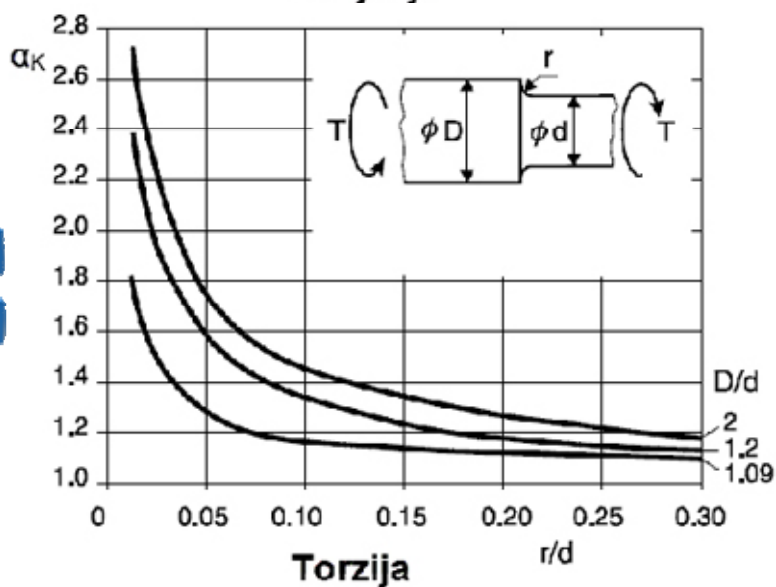
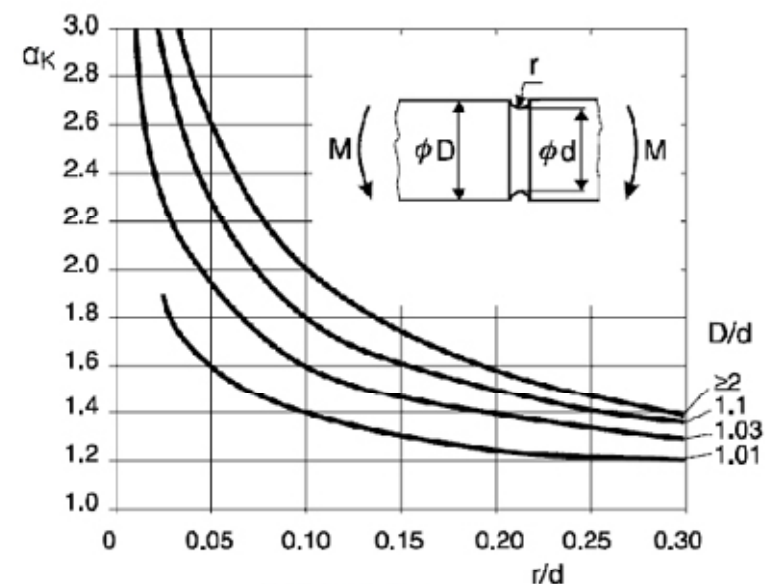
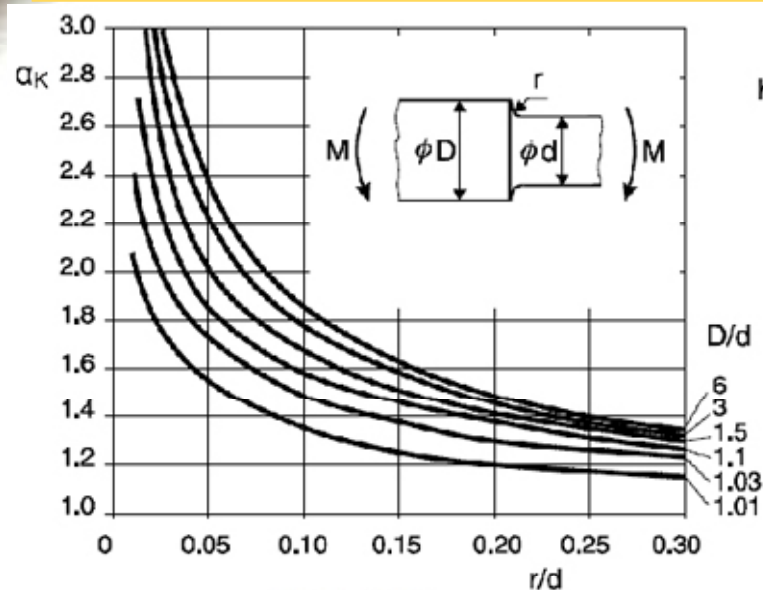
$$\alpha_{k\sigma} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_n}$$

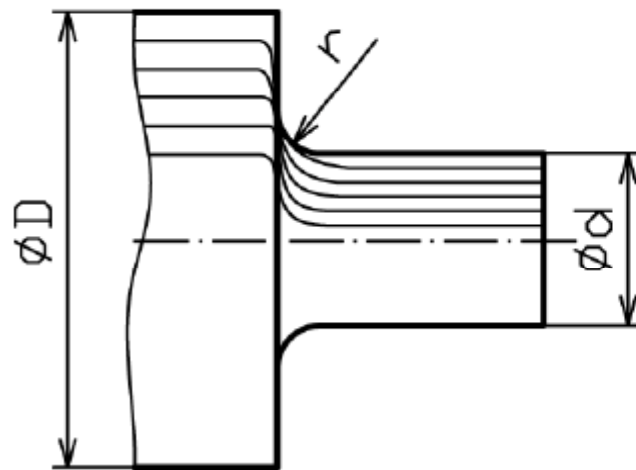
$$\alpha_{k\tau} = \frac{\tau_{max}}{\tau_n}$$



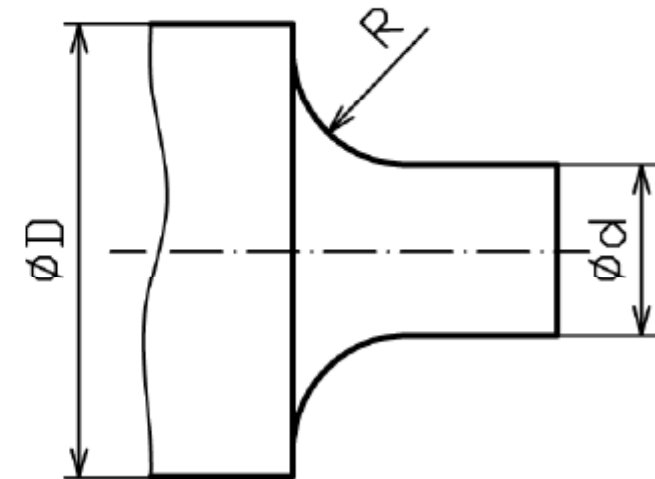
Вредности геометријског фактора концентрације напона (α_k) у многостави зависе од:

- облика извора концентрације напона и
- врсте оптерећења.

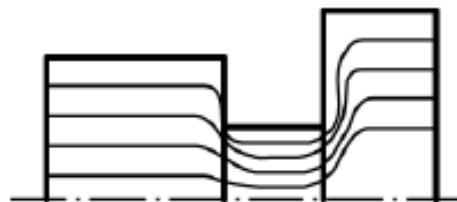




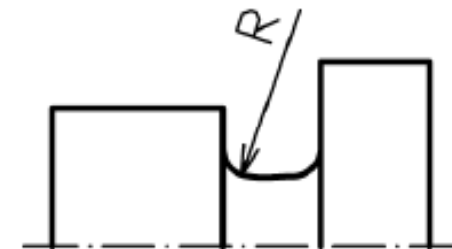
a)



b)



c)



d)

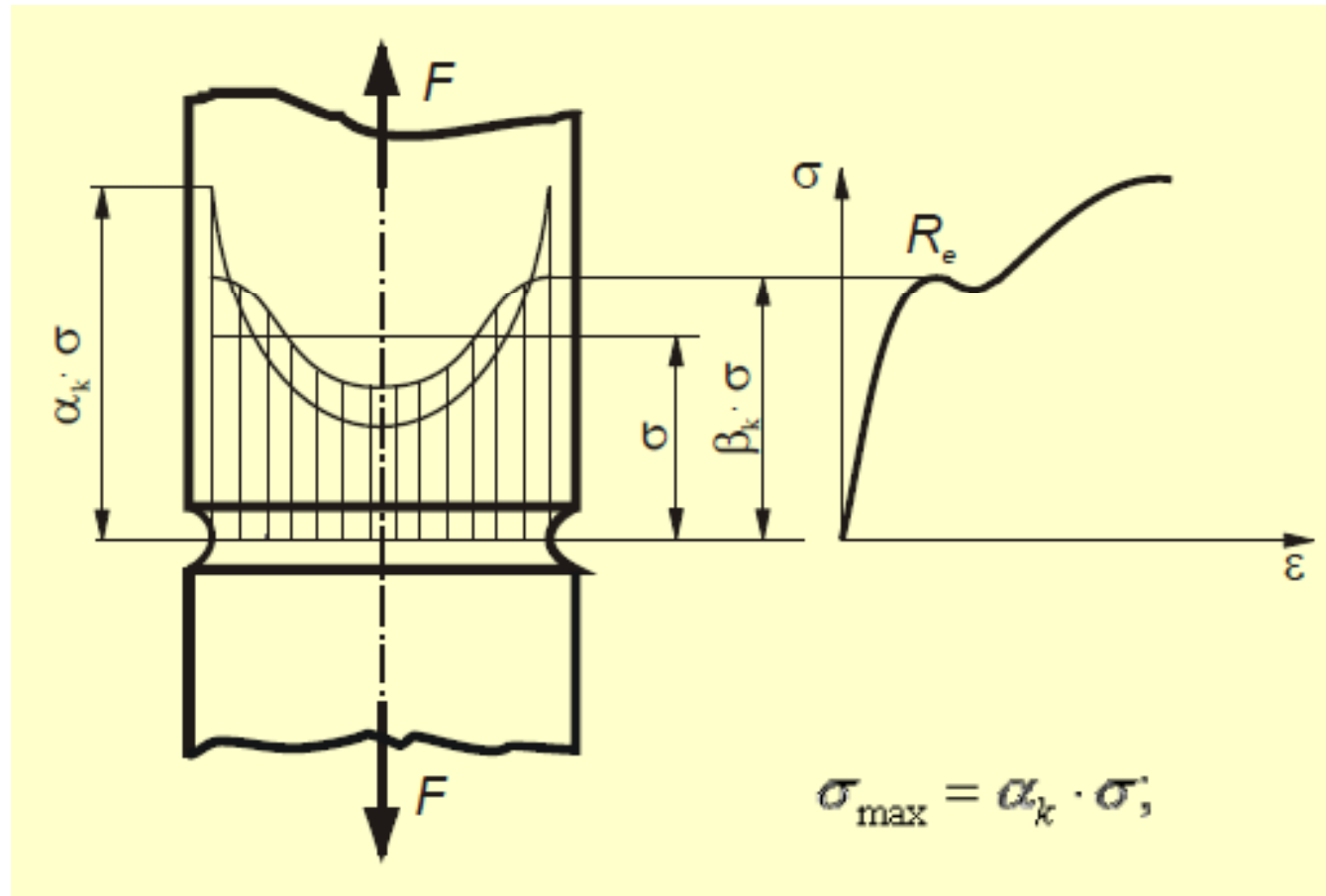
Вредности геометријског фактора концентрације напона (α_k) у многоне зависе од:

- облика извора концентрације напона и
- врсте оптерећења,

АЛИ не узима у обзир:

- врсту материјала,
- површинску храпавост,
- виткост елемента.

Ефективни фактор концентрације напона (β_k) – узима у обзир и утицај материјала – одређује се експериментално.



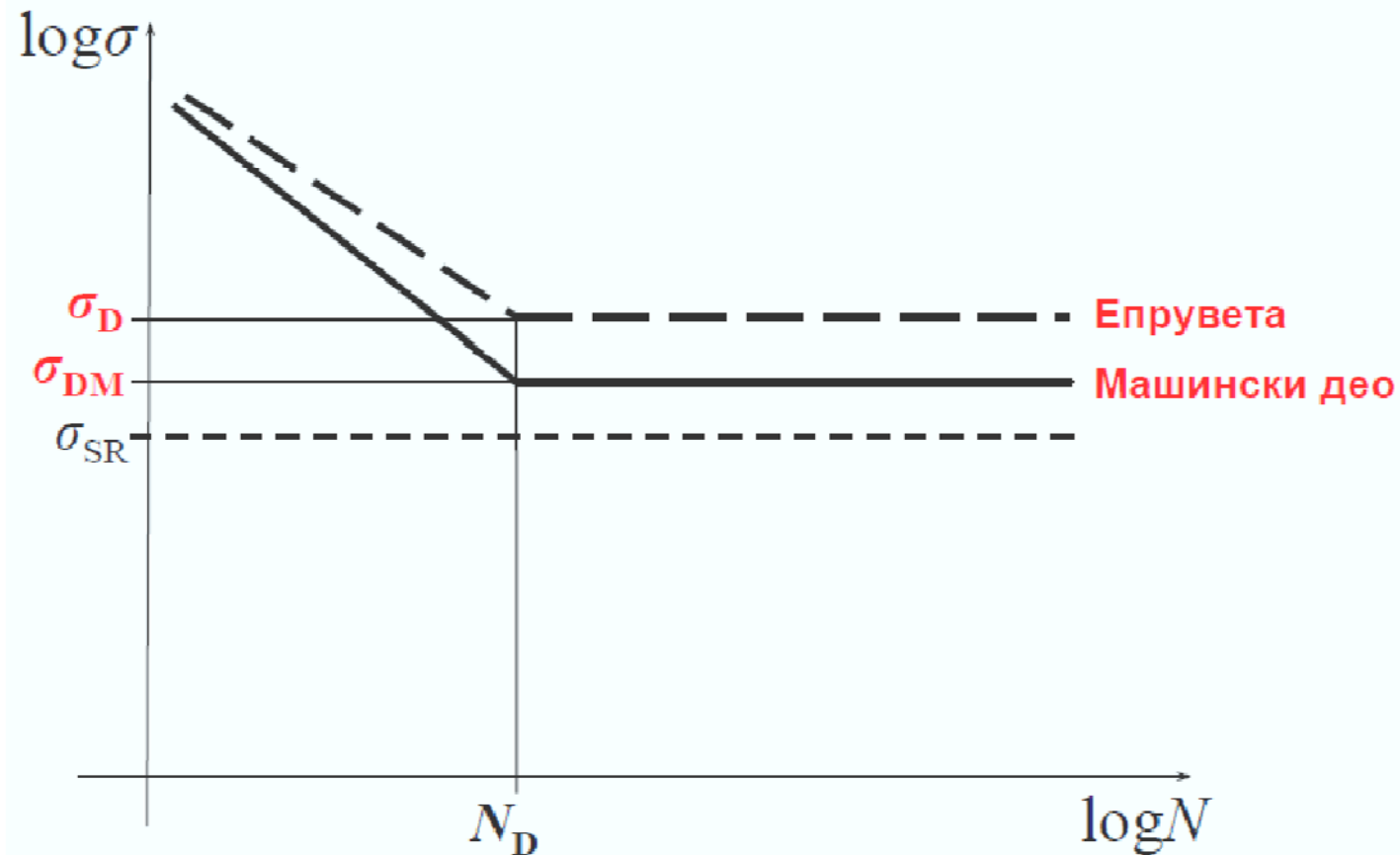
У случају да не постоје експериментални подаци, ефективни фактор концентрације напона се може израчунати на основу геометријског фактора концентрације напона и **степенa осетљивости материјала на концентрацију напона (η_k)**.

$$\eta_k = \frac{\beta_{k\sigma}\sigma_n - \sigma_n}{\alpha_{k\sigma}\sigma_n - \sigma_n}$$

$$\eta_k = \frac{\beta_{k\tau}\tau_n - \tau_n}{\alpha_{k\tau}\tau_n - \tau_n}$$

$$\beta_{k\sigma} = 1 + \eta_k (\alpha_{k\sigma} - 1)$$

$$\beta_{k\tau} = 1 + \eta_k (\alpha_{k\tau} - 1)$$



Из обрасца за прорачун степена сигурности:

$$S_{\sigma} = \frac{\sigma_K}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_{D(R)} \xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_{k\sigma} \sigma} = \frac{\sigma_{KM}}{\sigma}$$

σ_K , τ_K - критични напон,

$\sigma_{\max}$, $\tau_{\max}$ - највећи напон у посматраном пресеку машинског дела,

следи да су критични напони у конкретном машинском елементу (M):

$$\sigma_{KM} = \frac{\sigma_{D(R)} \xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_{k\sigma}}$$

$$\tau_{KM} = \frac{\tau_{D(R)} \xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_{k\tau}}$$

$$\sigma_{KM} = \frac{\sigma_{D(R)} \xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_{k\sigma}}$$

$$\tau_{KM} = \frac{\tau_{D(R)} \xi_1 \xi_2 \xi_3}{\beta_{k\tau}}$$

$\sigma_{D(R)}$, $\tau_{D(R)}$ - критични напон епрувете,

σ_{KM} , τ_{KM} - критични напон за конкретан машински део,

ξ_1 - фактор апсолутних димензија,

ξ_2 - фактор површинске храпавости,

ξ_3 - фактор стања површине,

$\beta_{k\sigma}$, $\beta_{k\tau}$ - ефективни фактор концентрације напона.

Минимална вредност степена сигурности

Зависи од низа фактора:

- тачности утврђеног оптерећења (напона),
- намене машинског елемента и
- жељене поузданости.

$$S_{min} = k_1 k_2 k_3$$

k_1 - фактор који узима у обзир тачност утврђених података

k_2 - фактор који узима у обзир одговорност машинског елемента

k_3 - фактор који узима у обзир трајност, поузданост, сигурност и својства материјала

Питања ...

