

СЛОЖЕНО НАПРЕЗАЊЕ ЛИНИЈСКОГ НОСАЧА

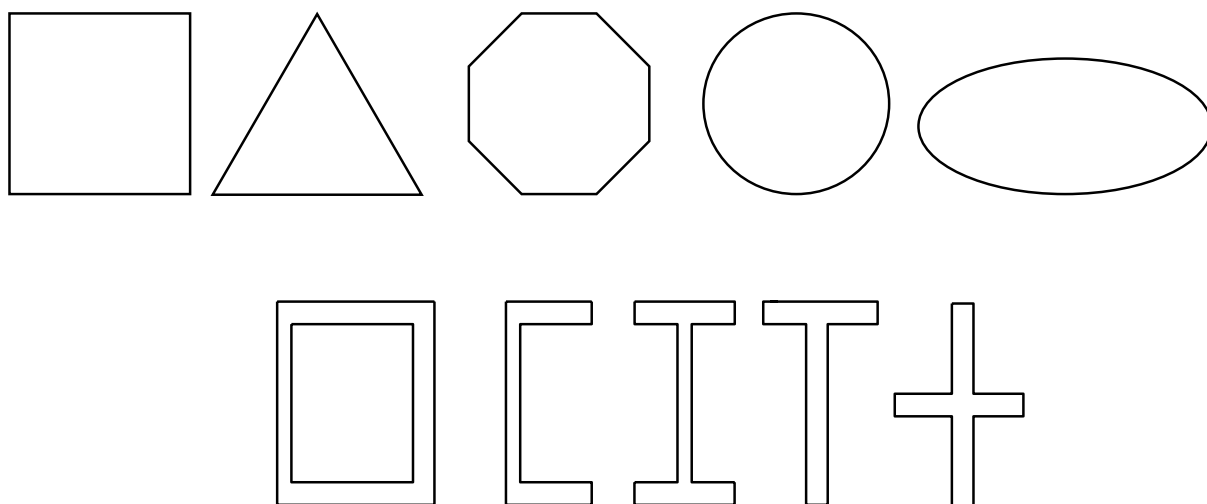
Сложено просторно напрезање линијског носача се за најопштији случај напрезања може састојати из следећег:

- подужно напрезање (истезање, притисак) – појављује се нормални напон
- савијање у две главне равни - појављује се нормални напон и смицајни напон од поречне силе у две главне раавни
- увијање око подужне осе носача – појављује се смицајни напон.

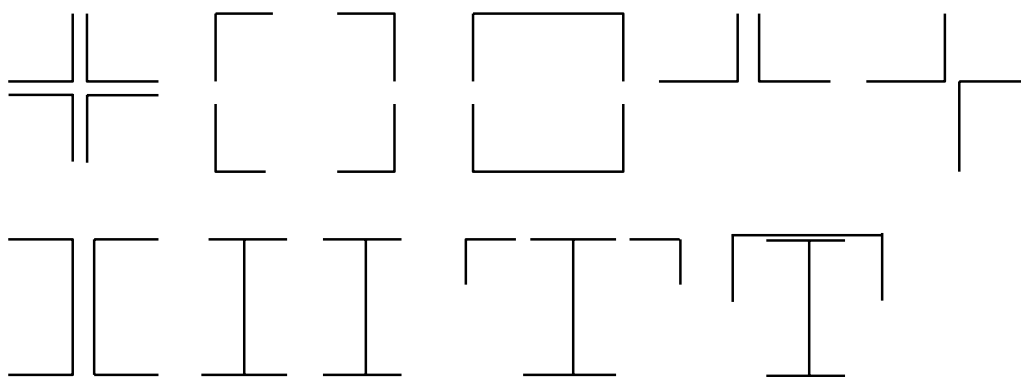
Класификација попречног пресека (слика 5, 6) по више основа гласи:

- призматични и кружни
- пуни, дебелозиди и танкозиди
- отворени и затворени.

Врста попречног пресека, поред оптерећења, је од најбитнијег утицаја на расподелу напона по попречном пресеку. То значи да се за сваки различити попречни пресек мора извршити анализа расподеле напона.



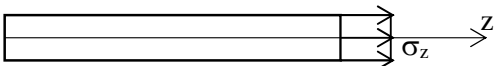
Слика 5. Врсте попречних пресека



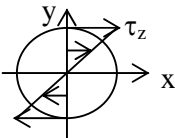
Слика 6. Сложени попречни пресеци

Поновимо обрасце за напоне код простих напрезања и попречних пресека.

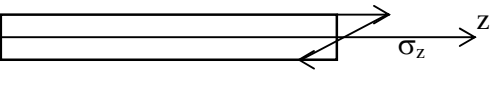
Подужно напрезање

$$\sigma_z = \frac{N}{A}$$


Увијање кружног попречног пресека

$$\tau_z = \frac{M_t}{W_0}$$


Савијање моментом M_x и M_y

$$\sigma_z = \pm \frac{M_x}{W_x}, \quad \sigma_z = \pm \frac{M_y}{W_y}$$


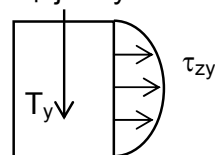
оба напона су колинеарна и ако постоји тачка пресека која поседује оба напона они се алгебарски сабирају.

Смицајни напон при савијању попречном силом T_y и T_x дебелозидних пресека

$$\tau_{zy} = \frac{T_y}{I_x} \cdot \frac{\bar{S}_y}{\xi_x}, \quad \tau_{zx} = \frac{T_x}{I_y} \cdot \frac{\bar{S}_x}{\xi_y}$$

напони се слажу суперпозицијом уколико у истој тачки

пресека делују оба као $\tau_z = \sqrt{\tau_{zx}^2 + \tau_{zy}^2}$.



Смицајни напон при савијању попречном силом T_y и T_x танкозидних пресека

$$\tau_{zy} = \frac{T_y}{A_y}, \quad \tau_{zx} = \frac{T_x}{A_x}$$

A_x, A_y - редукована површина попречног пресека – елементи површине који се пружају дуж одговарајуће осе, напони се слажу суперпозицијом уколико у истој тачки делују оба као $\tau_z = \sqrt{\tau_{zx}^2 + \tau_{zy}^2}$. Смицајни напон по једној оси може се сматрати константним по целом пресеку у правцу те осе.

Увијање танкозидог штапа отвореног попречног пресека правоугаоних трака

Напон, торзиона константа и торзиони отпорни момент гласе:

$$\tau_{zi} = \frac{M_t}{W_{ti}}, \quad \tau_{z\max} = \frac{M_t}{W_{t\min}}, \quad I_t = \eta \sum \frac{b_i t_i^3}{3}, \quad w_{ti} = \frac{l_t}{t_i}, \quad w_{t\min} = \frac{l_t}{t_{\max}}$$

где је b_i и t_i ширина и дебљина и-те траке. За ови врсту анализе можемо сматрати да овај напон смицања константан дуж спољашњих ивица траке и да је максималан по дужој страници.

Увијање такнозидог штапа затвореног попречног пресека

Напон, торзиона константа и торзиони отпорни момент гласе:

$$\tau_{zi} = \frac{M_t}{w_{ti}}, \quad \tau_{z\max} = \frac{M_t}{w_{t\min}}, \quad I_t = \frac{4A^{*2}}{\sum b_i t_i}, \quad w_{ti} = 2A^* t_i, \quad w_{t\min} = 2A^* t_{\min}, \quad \text{где је } A^* \text{ површина}$$

ограничена средњом линијом профила, b_i и t_i ширина и дебљина и-те траке профила. Свака трака затвореног пресека има свој напон који је константан по целом пресеку траке. Максимални напон поседује најтања трака.

Еквивалентни напон

Најчешће примењена хипотеза ос лому материјала за добијање еквивалентног напона линијских носећих елемената гласи:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sqrt{\sigma_z^2 + 3\tau_{xy}^2}.$$

То значи да треба прво сложити посебно нормалне и смицајне напоне па тек применити претходни образац. При томе треба бити обазрив које напоне, на којим местима и на који начин можемо сложити. Често се дешава ситуација да у једној тачки пресека неке компоненте напона имамо а неке не.

Следи приказ расподеле напона сложеног напрезања елемента носача и њихово слагање за одговарајуће попречне пресеке.

I профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = \frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{pojas}}$$

Тачка В:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x}$$

$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{pojas}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{rebro}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$

+ профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x}$$

$$\tau_z = \frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{rebro}}$$

Тачка В:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = \frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{pojas}}$$

Тачка С:

$$\sigma_z = \frac{N}{A}$$

$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{pojas}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t}{w_{ti}}^{\text{rebro}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$

Т профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} - \frac{M_x^A}{w_x}$$
$$\tau_z = \frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^{\text{rebro}}}{w_{ti}}$$

Тачка В:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x^B}{w_x} + \frac{M_y}{w_y}$$
$$\tau_z = \frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^{\text{pojas}}}{w_{ti}}$$

Тачка С:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x^B}{w_x}$$
$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^{\text{pojas}}}{w_{ti}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^{\text{rebro}}}{w_{ti}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$

U профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} - \frac{M_x}{w_x} - \frac{M_y}{w_y}$$

Тачка В:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^{\text{pojas}}}{w_{ti}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^{\text{rebro}}}{w_{ti}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$
$$\tau_z = \frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^{\text{pojas}}}{w_{ti}}$$

О профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^{\text{pojas}}}{w_{ti}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^{\text{rebro}}}{w_{ti}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$

Пун профил

Тачка А:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = 0$$

Тачка В:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{w_y}$$

$$\tau_z = \frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^B}{w_{ti}}$$

Тачка С:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_x}{w_x}$$

$$\tau_z = \frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^C}{w_{ti}}$$

Тачка D:

$$\sigma_z = \frac{N}{A}$$

$$\tau_z = \max\left[\left(\frac{T_x}{A_x} + \frac{M_t^C}{w_{ti}}\right), \left(\frac{T_y}{A_y} + \frac{M_t^D}{w_{ti}}\right), \left(\sqrt{\left(\frac{T_x}{A_x}\right)^2 + \left(\frac{T_y}{A_y}\right)^2}\right)\right]$$

