6. lekce

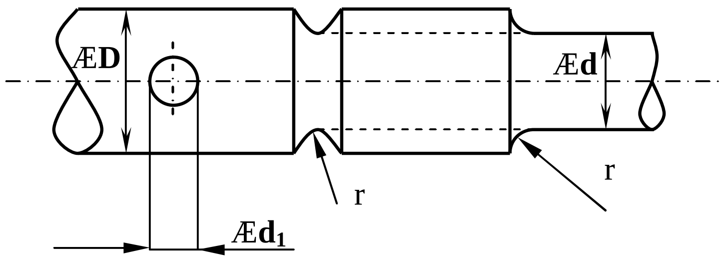
Konstrukční a technologické koncentrátory napětí

Obsah:

6.1 – Úvod

<u>Konstrukční koncentrátory napětí</u> (obr 6.1) vznikají při změně silového toku v tělesech vlivem vrubů, přechodů a změn v tloušťkách stěn.

Koncentrace napětí zapříčiňují též makrodefekty materiálu jako jsou trhlinky, převalky, přeložky, zákovky, defekty ve svarech, staženiny a dutiny v odlitcích. Tyto koncentrátory napětí se označují jako **<u>technologické koncentrátory</u>**.



Obr. 6.1

6.2 – Účinek lokálních konstrukčních koncentrací napětí

a. **<u>Vruby zvyšují místně napětí</u>**, což lze vyjádřit poměrným zvýšením napětí ve srovnání s hladinou nominálního napětí $\sigma_n = \sigma$, které by působilo u těles stejného typu a stejně namáhaných bez vrubu. Toto zvýšení se vyjadřuje bezrozměrovým součinitelem koncentrace napětí (někdy nazývaným <u>tvarovým součinitelem</u>):

$$a_s = a = \frac{s_{max}}{s_n} > 1 .$$

b. **<u>Lokální deformace</u>** je zvýšena oproti nominální hodnotě přetvoření:

$$a_e = \frac{e_{max}}{e_n} > 1 .$$

V oblasti elastické, v níž platí úměrnost $\sigma \sim \varepsilon$, je:

$$a_s = a_e = a_{elteor} .$$

V plastické oblasti koncentrace deformace roste, koncentrace napětí klesá:

$$a_e > a_s .$$

Tato skutečnost závisí na nelineárním vztahu mezi napětím a přetvořením. Vzniká přerozdělení napětí, které se postupně vyrovnává.

c. **<u>Vruby působí změnu napjatosti ve svém okolí</u>** (u rotačních tyčí a objemných těles vzniká trojosá napjatost, u tenkých plochých tyčí napjatost dvojosá). Hlavní napětí v průřezu pod vrubem jsou ovšem nerovnoměrně rozdělena (maxima odpovídají hodnotám příslušných koncentrací napětí α_1, α_2, α_3).

d. **<u>Součinitel koncentrace napětí</u>** α závisí na:

- poloměru zakřivení kořene vrubu ρ,
- hloubce vrubu t_v a rozměru tělesa v hlavním řezu,
- povaze namáhání (typu silového toku tělesem)

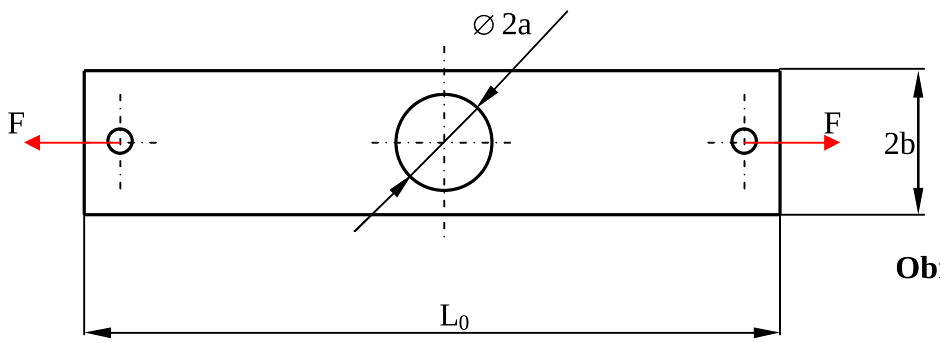
<u>Čím je vrub ostřejší a hlubší, těleso rozměrnější, tím je α vyšší</u>. U řady případů je koncentrace napětí největší při tahovém namáhání, nižší při ohybovém a nejmenší u namáhání krutem.

Od kořene vrubu klesají hodnoty napětí. Mluvíme o gradientu napětí *g*.

Největší gradient vzniká při elastické napjatosti v kořeni vrubu. U elastoplastické napjatosti je největší napětí na rozhraní plastické zóny pod vrubem a elastického prostředí. Ve větší vzdálenosti od kořene vrubu nastává snížení napětí pod úroveň nominální hodnoty, neboť celková síla či moment jsou určeny vnějším zatížením a napětí musí dávat vnitřní síly stojící s nimi v rovnováze. Mluvíme o odlehčujícím účinku.

6.3 – Vliv kruhového otvoru na rozložení napjatosti v dlouhém tenkém pásu zatíženém tahem

Cílem této části 6. lekce je stanovit součinitel koncentrace napětí v dlouhém tenkém pásu s centrálním otvorem (viz obr. 6.2), který je zatížen tahem.



Obr. 6.2

Úloha bude řešena analyticky, experimentálně a numericky prostřednictvím metody konečných prvků (FEM – modelu součásti).

A. Analytické řešení

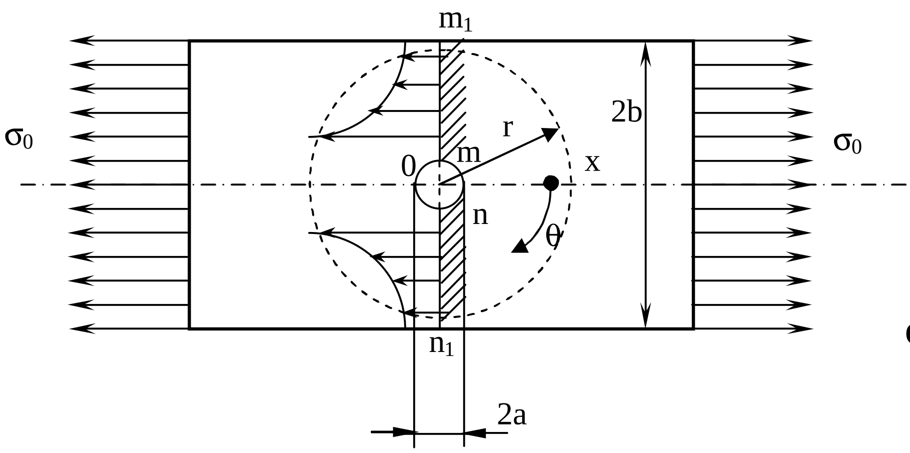
V dostupné odborné literatuře lze nalézt řešení úlohy, která je zobrazena na obr. 6.3. Napjatost v okolí kruhového otvoru o poloměru **<u>*a*</u>** lze vyjádřit v následujícím tvaru.

$$s_r = \frac{s_0}{2}\left(1 - \frac{a^2}{r^2}\right) + \frac{s_0}{2}\left(1 + 3\frac{a^4}{r^4} - 4\frac{a^2}{r^2}\right)\cdot \cos 2q$$

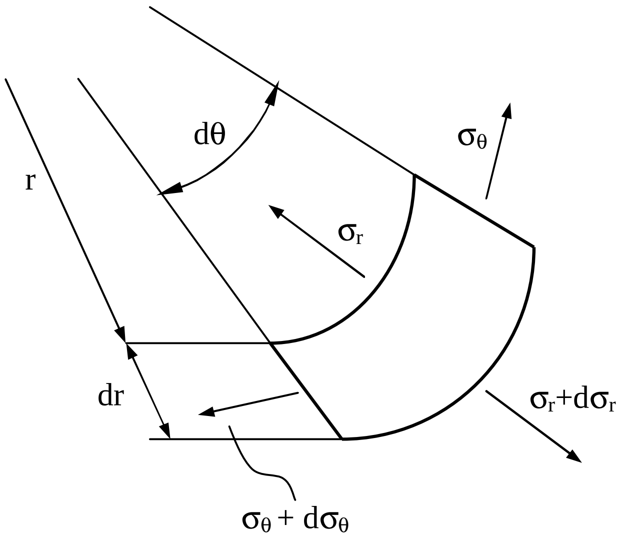
$$s_q = \frac{s_0}{2}\left(1 + \frac{a^2}{r^2}\right) - \frac{s_0}{2}\left(1 + 3\frac{a^4}{r^4}\right)\cdot \cos 2q$$

$$t_{rq} = -\frac{s_0}{2}\left(1 - 3\frac{a^4}{r^4} + 2\frac{a^2}{r^2}\right)\cdot \sin 2q$$

Význam jednotlivých veličin uvedených v předchozích rovnicích je patrný z obr. 6.3. Z obrázku 6.4 je pak patrné zatížení elementu vyjmutého v oblasti pro *r Î* <*a, b*>.



Obr. 6.3



Obr. 6.4

Na povrchu otvoru , tj. pro $r = a$ obdržíme :

$$s_r = t_{rq} = 0 \quad ; \quad s_q = s_0 - 2s_0 \cos 2q$$

Z předchozího vztahu je patrné, že maximální hodnota s_q je dosažena pro úhel $q = p/2$ *nebo* $3p/2$. V těchto bodech je $s_q = 3 \times s_0$.

Napětí t_{rq} *a* s_q v příčném řezu m₁, n₁, tj. pro $q = p/2$, jsou dány vztahy:

$$t_{rq} = 0; \qquad s_q = \frac{s_0}{2}\left(2 + \frac{a^2}{r^2} + 3\frac{a^4}{r^4}\right)$$

Maximum opět obdržíme pro $r = a$, tj.

$$\max s_q = 3s_0 .$$

Dále platí pro plný průřez:

$$s_0 = \frac{F}{2tb} .$$

Nominální napětí v zeslabeném průřezu

$$s_{nom} = \frac{F}{2t(b-a)} .$$

Tvarový součinitel je

$$K = \frac{s_{\max}}{s_{nom}} = 3 \cdot \frac{\cancel{F}}{\cancel{2}tb} \cdot \frac{\cancel{2}t(b-a)}{\cancel{F}} = 3\left(1 - \frac{a}{b}\right) .$$

Výše uvedený výraz pro tvarový součinitel **„*K*“** zkoumané úlohy je správný, je-li šířka pásu významně větší než průměr otvoru. V případě, že b ³ $4a$, nepřevyšuje chyba v odhadu s_{max} dané úlohy hodnotu 6%.

B. Experimentální řešení

Experimentální řešení dané úlohy bude předmětem laboratorního cvičení.

C. Numerické řešení prostřednictvím metody konečných prvků

Řešení dané úlohy bude předmětem laboratorního cvičení.