



Dynamická pevnost a životnost

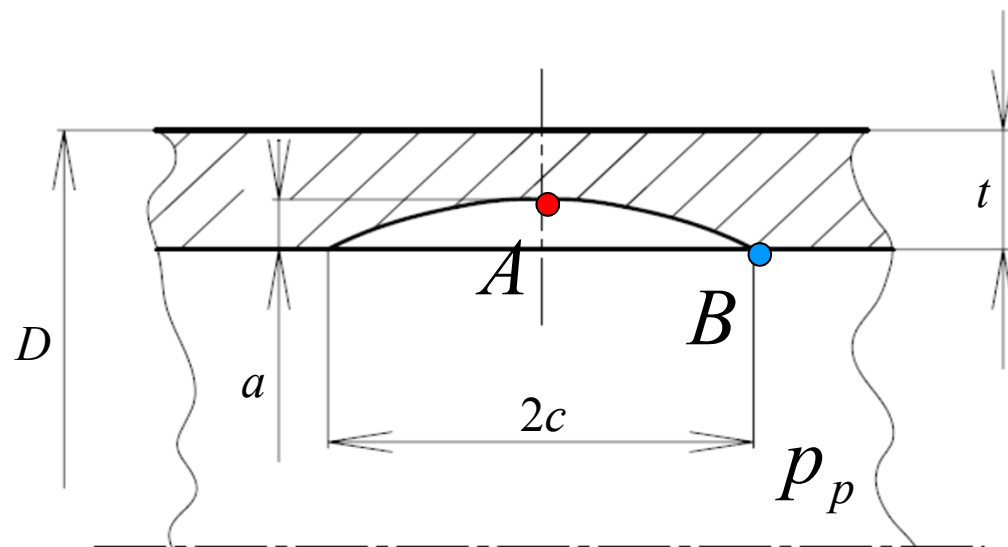
Jur, příklad III

Milan Růžička, Josef Jurenka, Martin Nesládek



Posouzení provozuschopnosti nádoby s trhlinou

- V průběhu výroby nádoby byl zjištěn podélný defekt ve svaru na vnitřní straně tlakové nádoby, který lze při výpočtu aproximovat poloeliptickou modelovou trhlinou. Je nutné posoudit možnost provozování nádoby za předpokládaného tlaku nebo s omezením, eventuálně její vyřazení.



$$D = 480 \text{ mm},$$

$$t = 8.5 \text{ mm},$$

$$p_p = 28 \text{ MPa},$$

$$p_z = 1.15 p_p,$$

$$a = 3 \text{ mm},$$

$$2c = 8.5 \text{ mm}.$$

$$R_e = 1000 \text{ MPa},$$

$$R_m = 1200 \text{ MPa},$$

$$K_{Ic} = 2300 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

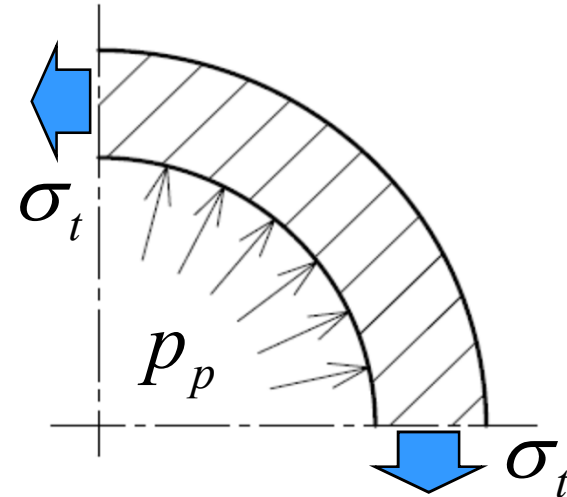


Tečné nominální napětí:

$$\sigma_t = \frac{p_p D}{2t} = \frac{28 \cdot 240}{8,5} = 791 \text{ MPa.}$$

Porovnání σ_t s mezí kluzu R_e :

$$\sigma_t = 791 < R_e = 1000 \text{ MPa.}$$



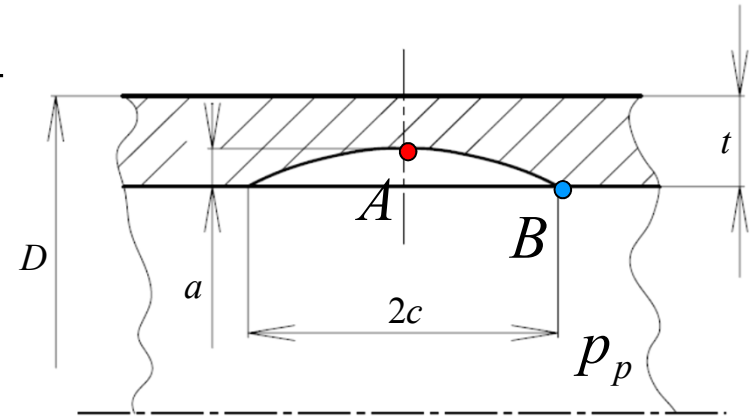
Podmínka elastické makronapjatosti je splněna \Rightarrow je možné vycházet z dosud uvedených vztahů platných pro LLM (lineární lomovou mechaniku) \Rightarrow rozměry plastické zóny budou malé a nosný průřez materiálu zůstane elastický.

Statická bezpečnost k mezi kluzu je:

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_t} = \frac{1000}{791} = 1.26$$

Stanovení faktoru intenzity napětí v místě A a B trhliny.

V prvním přiblížení se jedná o stanovení K_I - faktoru intenzity napětí (přetlak v nádobě bude způsobovat otvírání trhliny) bez uvažování plastické zóny r_p^* na čele trhliny.



□ Bod A:

$$K_{I,A} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,A} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right)$$

□ Bod B:

$$K_{I,B} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,B} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right)$$

Korekční funkce Y:

$$Y_{I,A} = \left[\left(1.13 - 0.09 \cdot \frac{a}{c} \right) + \left(-0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \frac{a}{c}} \right) \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^2 + \left\{ 0.5 - \frac{1}{0.65 + \frac{a}{c}} + 14 \cdot \left(1 - \frac{a}{c} \right)^{24} \right\} \cdot \left(\frac{a}{c} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1.464 \cdot \left(\frac{a}{c} \right)^{1.65}}}$$

$$Y_{I,B} = Y_{I,A} \cdot \left[1.1 + 0.35 \cdot \left(\frac{a}{t} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{a}{c}}$$

Vztahy jsou platné pro:

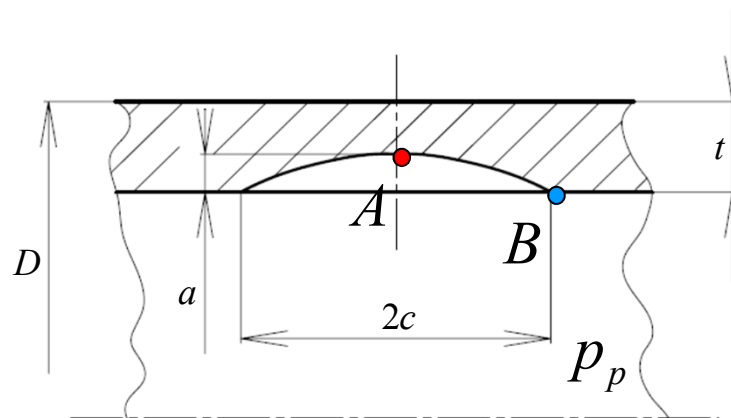
$$\frac{a}{c} \leq 1.0, \quad \frac{a}{t} \leq 0.8, \quad \frac{a}{W} \leq 0.2, \quad \frac{L}{W} \geq 2.0$$



Korekční funkce Y – dosazení:

$$Y_{I,A} = \left[\left(1.13 - 0.09 \cdot \frac{3}{4.25} \right) + \left(-0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \frac{3}{4.25}} \right) \cdot \left(\frac{3}{8.5} \right)^2 + \left\{ 0.5 - \frac{1}{0.65 + \frac{3}{4.25}} + 14 \cdot \left(1 - \frac{3}{4.25} \right)^{24} \right\} \cdot \left(\frac{3}{4.25} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1.464 \cdot \left(\frac{3}{4.25} \right)^{1.65}}} = 0.79$$

$$Y_{I,B} = 0.83 \cdot \left[1.1 + 0.35 \cdot \left(\frac{3}{8.5} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{3}{4.25}} = 0.76$$





Výpočet faktoru intenzity napětí pro místo A:

$$K_{I,A} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,A} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right) = 791 \cdot \sqrt{\pi \cdot 3} \cdot 0.79 = 1918 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Výpočet faktoru intenzity napětí pro místo B:

$$K_{I,B} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,B} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right) = 791 \cdot \sqrt{\pi \cdot 3} \cdot 0.76 = 1846 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Podmínka stability trhliny:

$$K_{I,A} \leq K_{Ic}$$

$$1918 \leq 2300 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Hodnota K na reálném díle je menší než zjištěná lomová houževnatost daného materiálu \Rightarrow nedojde ke křehkému lomu.

Je tento výpočet dostatečně konzervativní???



Korekce na velikost plastické zóny na čele trhliny \Rightarrow Irwinova korekce:

Místo A:

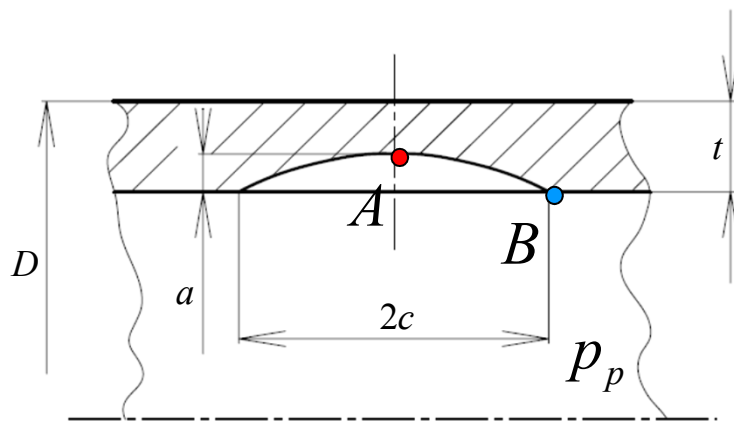
$$a_{ef} = a + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{I,A}}{R_{p0.2}} \right)^2 = 3 + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1918}{1000} \right)^2 = 3.59$$

Výpočetní prodloužení
trhliny ve směru do
materiálu.

Místo B:

$$c_{ef} = c + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{I,B}}{R_{p0.2}} \right)^2 = 4.25 + \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1846}{1000} \right)^2 = 4.79$$

Výpočetní prodloužení
trhliny ve směru
vnitřního povrchu.

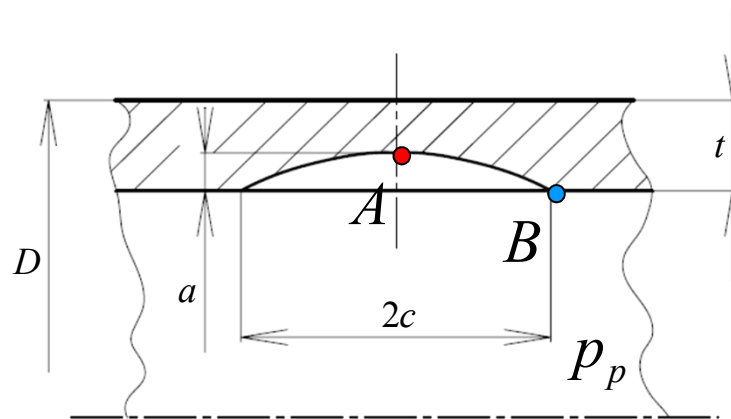




Korekční funkce Y pro efektivní délku (velikost) trhliny – dosazení:

$$Y_{I,A} = \left[\left(1.13 - 0.09 \cdot \frac{3.59}{4.79} \right) + \left(-0.54 + \frac{0.89}{0.2 + \frac{3.59}{4.79}} \right) \cdot \left(\frac{3.59}{8.5} \right)^2 + \left\{ 0.5 - \frac{1}{0.65 + \frac{3.59}{4.79}} + 14 \cdot \left(1 - \frac{3.59}{4.79} \right)^{24} \right\} \cdot \left(\frac{3.59}{4.79} \right)^4 \right] \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 1.464 \cdot \left(\frac{3.59}{4.79} \right)^{1.65}}} = 0.77$$

$$Y_{I,B} = 0.83 \cdot \left[1.1 + 0.35 \cdot \left(\frac{3.59}{8.5} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{\frac{3.59}{4.79}} = 0.78$$





Plastická zóna na čele trhliny

Výpočet faktoru intenzity napětí pro místo A_{ef} :

$$K_{I,A} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,A} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right) = 791 \cdot \sqrt{\pi \cdot 3.59} \cdot 0.77 = 2045 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Výpočet faktoru intenzity napětí pro místo B_{ef} :

$$K_{I,B} = \sigma_t \sqrt{\pi \cdot a} \cdot Y_{I,B} \left(\frac{a}{c}, \frac{a}{t} \right) = 791 \cdot \sqrt{\pi \cdot 3.59} \cdot 0.78 = 2072 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

Podmínka stability trhliny:

$$K_{I,B} \leq K_{Ic}$$

$$2072 \leq 2300 \text{ MPa}\sqrt{\text{mm}}$$

