



DETEKCE DEFEKTŮ - VMÁČKLIN V POTRUBÍ PLYNOVODŮ V KOMBINACI S DALŠÍMI TYPY POŠKOZENÍ

DETECTION OF DENTS IN PIPELINES IN COMBINATION WITH ANOTHER DEFECTS

Václav SVOBODA¹, Lubomír GAJDOŠ², František ŽEMLIČKA¹

¹Preditest Ltd., Pod Višňovkou 1662/23, 14000 Praha 4, Czech Republic
svoboda@preditest.cz

²ÚTAM AV ČR, v.v.i, Prosecká 809/76, 190 00 Praha 9, Czech Republic
gajdos@itam.cas.cz

Abstrakt:

Jednoduchá vmáčklina (dent) je definována jako poškození, které způsobuje hladkou změnu křivosti stěny trubky bez zmenšení její tloušťky, t.zn. že neobsahuje žádné defekty nebo imperfekce. Jednoduché vmáčkliny nesnižují významně destrukční pevnost trubky. Únavová životnost trubky, obsahující jednoduchou vmáčklinu, je však menší než únavová životnost nedeformované kruhové trubky, neboť vmáčklina působí jako napěťový koncentrátor. Tvar vmáčkliny se nejeví jako kritický parametr, pokud je vmáčklina hladká. Podobně ani délka či šířka vmáčkliny se nejeví jako kritická. Nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje destrukční (monotonní) i únavovou pevnost jednoduché vmáčkliny je však hloubka vmáčkliny. Při posuzování konkrétních vmáčklin bude nutné zohlednit tento parametr.

Klíčová slova: Dent, Poškozovací procesy, Potrubí, Destrukce, Koncentrátor napětí

Abstract:

Simple dent is defined as a damage of pipe, which courses smooth change of curve on wall of the pipe, without reduction of wall thickness. Simple dent doesn't seriously reduce the destruction integrity of pipe. On opposite site, defects and imperfections reduce wall thickness. They play very important role, mainly if the pipe is under fatigue loading. Worst case is, if simple dent contains defect (crack type). This article describes how the stress concentration factor can be influenced by combination of various type of damage, which can appear in the reality on pipe, after long time of service.

Žlábkem rozumíme povrchové poškození potrubí, způsobené cizím předmětem a charakterizované zmenšením tloušťky stěny trubky. Z hlediska pevnostních účinků patří tedy do skupiny defektů spojených se ztrátou kovu z povrchových vrstev, kam patří i široká skupina povrchových poškození korozního typu. Kromě vrubového účinku a zmenšení tloušťky stěny přistupuje zde ještě riziko deformačně zpevněné vrstvy pod žlábkem. Tato deformačně zpevněná vrstva je způsobená teplem vzniklým při poškozujícím procesu a plastickou deformací. Jejím doprovodným znakem je snížení lokální tažnosti, takže nelze vyloučit ani vznik trhliny po odstranění tlačící síly a částečném návratu trubky do svého původního tvaru. Při hodnocení žlábků bude proto nutné vzít v úvahu zpevněnou vrstvu pod žlábkem a vliv snížené houževnatosti materiálu v tomto místě.

Jednoduchá vmáčklina (dent) je definována jako poškození, které způsobuje hladkou změnu křivosti stěny trubky bez zmenšení její tloušťky, t.zn. že neobsahuje žádné defekty nebo imperfekce. Jednoduché vmáčkliny nesnižují významně destrukční pevnost trubky. Únavová životnost trubky, obsahující jednoduchou vmáčklinu, je však menší než únavová životnost nedeformované kruhové trubky, neboť vmáčklina působí jako napětěový koncentrátor. Tvar vmáčkliny se nejeví jako kritický parametr, pokud je vmáčklina hladká. Podobně ani délka či šířka vmáčkliny se nejeví jako kritická. Nejvýznamnějším faktorem, který ovlivňuje destrukční (monotonní) i únavovou pevnost jednoduché vmáčkliny je však hloubka vmáčkliny. Při posuzování konkrétních vmáčklin bude nutné zohlednit tento parametr.

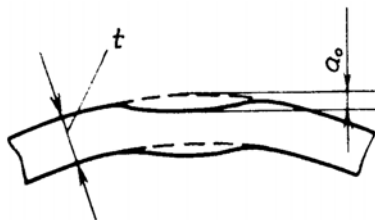
Lomená vmáčklina se liší od jednoduché vmáčkliny tím, že obsahuje prudké změny obrysu, t.zn. že je zjevně zakřivená. Lze očekávat, že trubky s lomenými vmáčklinami budou vykazovat velmi nízké destrukční tlaky a nízké únavové životnosti, neboť v místě prudké změny tvaru stěny bude vysoká koncentrace napětí.

Nestísněné a stísněné vmáčkliny (vmáčkliny spočívající na kamenech). Nestísněná vmáčklina může elasticky odskočit, když je odstraněno vnikové těleso a může se zaokrouhlit, když se vnitřní tlak média zvýší. Stísněná vmáčklina nemůže ani elasticky odskočit ani se nemůže zaokrouhlit při zvýšení tlaku, protože vnikové těleso není odstraněno. Tak je tomu například u vmáčkliny ležící na podkladě s kamennými výstupky. Stísněné a hladké nestísněné vmáčkliny nesnižují významně statickou (destrukční) pevnost trubky. Nejpravděpodobnější způsob porušení stísněné vmáčkliny je proražení stěny, avšak jediné tehdy, když je vnikové těleso (např. kámen) dostatečně tvrdý a ostrý a nosné zatížení je vysoké (a rostoucí). O únavové pevnosti stísněné vmáčkliny se dá soudit, že je větší než u ekvivalentní nestísněné vmáčkliny, a to vzhledem k tomu, že u stísněné vmáčkliny je menší rozkmit deformace.

Kombinace vmáčkliny s různými druhy defektů je velmi nebezpečná jak z hlediska statické, tak i únavové pevnosti. V tomto případě se jedná o násobný poškozující efekt, jehož výsledkem je velmi nízký lomový tlak. Je tomu tak proto, že samotný defekt, reprezentovaný určitým součinitelem koncentrace napětí, se již nachází v zóně zvýšeného napětí od účinku vmáčkliny, takže výsledný napětěový účinek je daný součinem obou součinitelů koncentrace napětí.

Nyní se soustředíme na případ vmáčkliny (dentu) v kombinaci s ostrým defektem. Již jsme se zmínili o tom, že pokud se vyskytne v vmáčklině napětěový koncentrátor, bude se jednat o násobný poškozující efekt, jehož výsledkem je velmi nízký lomový tlak. Vyplývá to ze skutečnosti, že samotný napětěový koncentrátor (drážka, vrub, zářez, tupá trhlina) se již nachází v oblasti zvýšeného napětí od vmáčkliny. Proto je výsledný napětěový účinek daný součinem obou součinitelů koncentrace napětí.

Situace je ilustrována na následujících obrázcích.



Obr. 1 - Schematické znázornění typické vmáčkliny ve stěně trubky

V místě vmáčkliny dochází ke koncentraci obvodového napětí. Součinitel této koncentrace lze popsat vztahem (1):

$$k_0 = 1 + \frac{6a_0}{t} \quad (1)$$

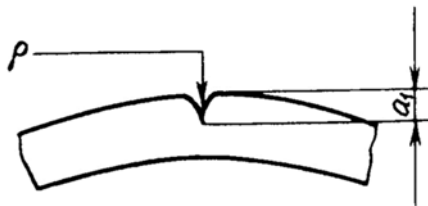
To znamená, že pokud je např. hloubka vmáčkliny (v nezatíženém stavu) $a_0 = 0,2 \cdot t$, získá součinitel koncentrace napětí takovéto vmáčkliny hodnotu $k_0 = 2,2$.

Když se nachází ve stěně trubky lokální koncentrátor napětí (vrub) s hloubkou a_1 a poloměrem kořene ρ (viz obr. 2), je podle Neubergera (2) pro mělké vruby hodnota součinitele

$$k_1 = 1 + 2 \sqrt{\frac{a_1}{\rho}} \quad (2)$$

koncentrace napětí

Nebezpečnost takového koncentrátoru si můžeme představit dosazením konkrétních hodnot hloubky a_1 a poloměru ρ do rov.(2). Uvažujme hloubku pouze 1 mm a poloměr kořene 0,25 mm. Výsledkem bude součinitel koncentrace napětí $k_1 = 5$.



Obr. 2 Lokální koncentrátor napětí v podélném směru trubky

Nyní uvažujme lokální koncentrátor ve vmáčklině (dentu) podle obr. 3.

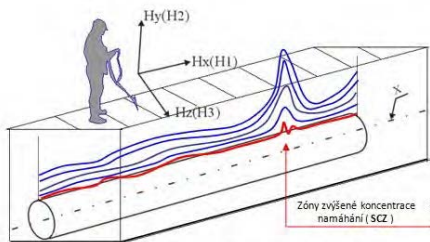
Zde se již uplatní oba koncentrátoři: jak základní (vmáčklina), tak i lokální (vrub). Pokud je součinitel koncentrace napětí vmáčkliny k_0 a lokálního koncentrátoru k_1 , pak bude celkový součinitel koncentrace napětí $k_c = k_0 \cdot k_1$. Pro výše uvažované parametry bychom dostali

$$k_c = k_0 \cdot k_1 = 2,2 \cdot 5 = 11$$



Obr. 3 Schematické znázornění lokálního napětového koncentrátoru ve vmáčklině

Vysoká hodnota součinitele koncentrace napětí znamená výrazně snížený lomový tlak trubky při monotonním zatížení anebo velmi rychlou nukleaci trhliny v kořeni koncentrátoru při cyklickém zatěžování trubky s následným růstem podle klasických zákonitostí rozvoje únavových trhlin.



Obr. 2.1 – Snímání magnetického pole nad potrubím v zemi v ose potrubí



Obrázky a schemata měření potrubí metodou MPM – Magnetická paměť materiálu (Metal Magnetic Memory Method)