

**MODEL ANALYSIS OF STRESS STATE OF CORROSION PIT OF PIPE.
MODELOVÁ ANALÝZA NAPJATOSTI KOROZNÍHO DŮLKU POTRUBÍ**

Michal MICKA, Josef JÍRA, Jitka JÍROVÁ, Petr PAŘÍZEK.

The principal prerequisite for the assessment of the present state of a high-pressure gas pipelines and the prediction of its service life is knowledge of the strength of the pipes with particular reference to local stresses due to geometric imperfections and damage of pipes by corrosion. The paper deals with a numerical and experimental analysis of the stress state and deformations of the model of a corrosion pit. Using the FEM and the strain-gauge measurement during high-pressure tests enables to describe the process of deformations and local stress concentrations inside the pit and its environs.

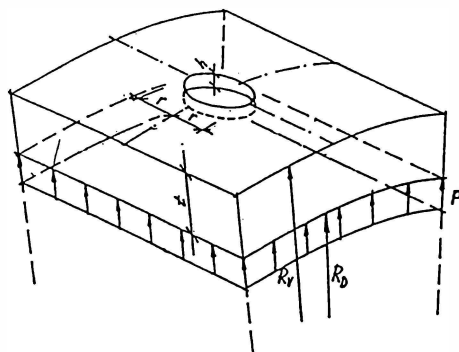
Úvod.

Stěna potrubí vysokotlakého (vtl) plynovodu uloženého v zemi je často z vnějšího povrchu zeslabována korozi. Napadení stěny je nerovnoměrné podle kombinace okolností a proto vzniká koroze různého typu a rozsahu. Prakticky můžeme rozlišit dva typy lokálního zeslabení stěny. Jde buď o plošně nevelká, ale dosti ostrá zeslabení nebo vznikají plošně rozsáhlejší zeslabení ve tvaru důlků, které se mohou postupně spojovat a vytvářet nepravidelný reliéf rozsáhlejšího plošného oslabení. Tyto defekty můžeme přiřadit k vrubům, kde jejich účinkem dochází v okolí k lokální změně silového toku, která se projevuje kvalitativními a kvantitativními změnami pole napětí a pole deformací. V okolí vrubu dochází ke vzniku trojosé napjatosti a ke koncentraci napětí.

Ve svém příspěvku se budeme zabývat numerickou a experimentální analýzou napjatosti v místě velmi hlubokého korozního důlku a v jeho okolí. Jsou sledovány rozvoj a změny pole napětí při různých velikostech zatížení vnitřním tlakem v potrubí. Zvláštní pozornost je věnována možným výskytům koncentrací napětí. Korozní důlek nahradíme jeho přesně definovaným modelem, který umožňuje vytvořit srovnávací hladinu pro další posuzování provozní degradace vtl potrubí, což vytváří podmínky pro reparaci provozovaných plynovodních potrubí vnitřním přetlakem.

Numerická analýza.

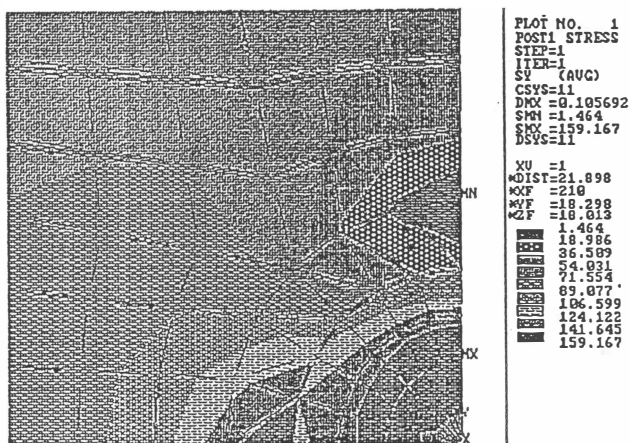
Numerické modelování chování hlubokého korozního důlku bylo provedeno MKP za podpory programu ANSYS 44.A jako trojdimensionální úloha. Úkolem bylo stanovit úroveň obvodových napětí v důlku a v jeho okolí (obr.1) Místek důlku je konstantní tloušťky, což znamená, že povrch dna je tedy plocha afinní vnitřnímu povrchu stěny potrubí. Hrana důlku na vnějším povrchu je tvořena průnikem pláště válce daného průměru s vnějším povrchem trubky.



Obr.1.

Boční plocha důlku je vytvořena translací horní hrany důlku po normále k povrchu trubky. Tato normála je vedena bodem průniku prostorové křivky horní hrany důlku a příčného průřezu trubky (vrcholem křivky horní hrany). Dolní hrana boční plochy důlku je vytvořena průnikem této boční plochy s plochou můstku. V první dokončené fázi výzkumu probíhal výpočet za předpokladu teorie pružnosti. Numerické modelování bylo provedeno s využitím symetrie na výřezu čtvrtiny korozního důlku. Ze stěny potrubí byl vyjmut výřez, jehož hrany mají délku přibližně rovnou nebo větší než průměr důlku.

Parametrická studie byla provedena pro konkrétní případ v praxi používané spirálově svařované trubky 426/6 mm z oceli 11 375.1. Rozměry matematického modelu korozního důlku byly voleny v souladu s prováděnými pevnostními hydraulickými zkouškami na tlakových nádobách zhotovených z trubek v tl. plynovodů, kde průměr důlku $2r=30$ mm a hloubka $h=4$ mm. Grafický výstup řešení, znázorňující vrstevnicové průběh obvodového napětí v důlku a jeho okolí je na obr.2.



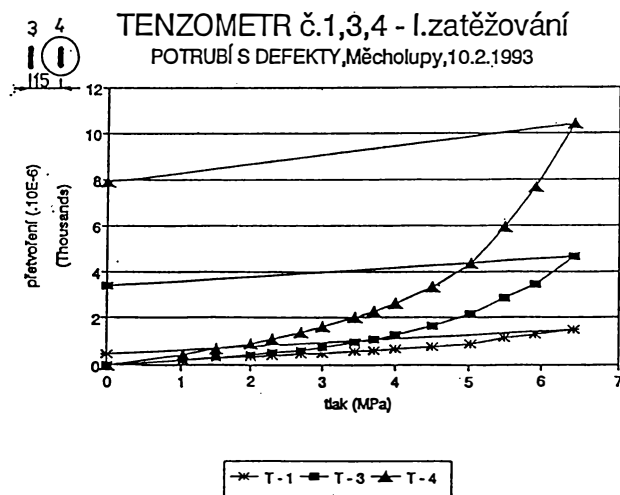
Obr.2.

Hodnoty jakékoliv vyšetřované veličiny jsou vztaženy potom k těmto základním geometrickým charakteristikám. Po vyřešení jednotlivých případů lze sestavit do tabulky obvodová napětí v neoslabené stěně trubky u hrany důlku a v jeho dně, které vytváří můstek mezi původní tloušťkou roury. Srovnávací napětí je potom průměrné obvodové napětí v původní stěně dané trubní napjatostí. Pomocí maximálních obvodových napětí a srovnávacího napětí pak můžeme určit součinitel koncentrace napětí v blízkosti a uvnitř důlku.

Experimentální analýza.

Experimentální vyšetřování chování korozního důlku bylo prováděno během pevnostních hydraulických zkoušek tlakových nádob vyrobených ze vzorků potrubí vtl plynovodů. Hlavním úkolem pevnostních zkoušek bylo stanovit mezní podmínky pro provádění rehabilitace těchto potrubí. Cílem metody reparace přetížením je vytvořit bariéry proti rozvoji poškození v exponovaných místech a ne vyvolat plastické přetváření v celé stěně potrubí. Konkrétní velikost reparačního přetížení se tedy musí zjistit na základě zjištěného stupně degradace materiálu a ve vztahu ke známým nebo předpokládaným defektům stěny dlouhodobě provozovaného potrubí. Proto nutnou etapou vedoucí k úspěšnému zvládnutí rehabilitace je zhodnocení významu přirozených defektů ve stěně trubky, které však musí vycházet z určitého srovnávacího měřítka.

Ve stěně zkušebních tlakových nádob byly vyrobeny v dílnách Státního výzkumného ústavu materiálu přesně definované umělé vady, jejichž rozměry byly navrženy tak, aby odpovídaly jevům u používaných vtl plynovodních potrubí. Pro výstižné popsání deformačních dějů probíhajících ve zkoušených trubkách během pevnostních testů byla prováděna ve SVÚM před vlastní hydraulickou zkouškou defektoskopická kontrola, která umožnila stanovit přesně výchozí podmínky. Měření deformačních procesů ve stěně potrubí, uvnitř umělých defektů a jejich okolí se provádělo odporovými tenzometry, které byly nalepeny do vybraných míst na tělese tlakové nádoby. Z tenzometrických měření je možno odvodit potřebné podklady pro odhad přechodu poškozené lokality do plastického stavu (obr.3). Průběh pevnostních zkoušek a tenzometrických měření je podobný pro všechny vyšetřované trubky.



Obr.3.

Na spirálově svařované zkušební trubce 426/6 mm byly vyrobeny, mimo jiné, umělé defekty ve tvaru hlubokých korozních důlků. Z předcházejícího výzkumu se ukázalo, že pozorovatelné a rozhodující deformační procesy se odehrávají u důlků, které mají tloušťku dna menší než 40% původní tloušťky stěny potrubí. Proto byla při hydraulické zkoušce volena zeslabená tloušťka dna důlku ($t=2$ mm) okolo 30% tloušťky stěny.

Závěr.

Hlavní poznatky z numerické a experimentální analýzy chování korozního důlku ve stěně spirálově svařovaných potrubí z uhlíkových feriticko-perlitických ocelí řady 11 můžeme shrnout do následujících poznatků. Při porušení v místě hlubokého a omezeného důlku půjde o tvárné porušení materiálu v zeslabeném místě stěny, které vznikne až po intenzivním plastickém toku materiálu v nejvíce exponovaném místě. V tomto místě dojde k výraznému zvýšení velikosti destrukčního tlaku, než odpovídá vypočtené hodnotě na základě meze pevnosti materiálu z tahových zkoušek a zeslabené tloušťce dna důlku, neboť se výrazně projevuje výtlačný vliv okraje důlku. Uplatní se spolunosná část nezeslabené stěny potrubí okolo oslabeného místa korozním důlkem (obr.2). Jak ukazuje numerická analýza, je nutno výtlačný efekt řešit na základě využití teorie skořepin pro lokální zeslabení jejich pláště.

Parametrické studie a experimenty ukázaly, že vlivem náhlé změny tuhosti v místě důlku dochází při vnitřním tlaku (obr.3) nejen k boulení dna důlku (T4), ale i k vyboulení jeho blízkého okolí (T3). Tenzometr T1 ukazuje velikosti obvodových přetvoření v plné stěně potrubí. K plastickému toku zde dochází mnohem dříve, než v libovolném místě neoslabené stěny potrubí, které je dostatečně vzdálené od osamělého a hlubokého důlku. Navzdory lokálního výrazného oslabení (cca 70%) dochází k porušení v tomto místě při vnitřních tlacích, které mají velikost od 85% do 95% teoretické meze pevnosti.

Komplexní posouzení provedeného řešení dále ukázalo, že spojení experimentální a numerické analýzy je prakticky použitelná metoda pro určení součinitelů koncentrace napětí ve vybraných místech a vyhodnocení mezních podmínek u dlouhodobě provozovaných potrubí vtl plynovodů.

Literatura.

1. J.Němec: Pevnost a životnost potrubí vtl tranzitních plynovodů. SNTL, Praha 1989.
2. M.Micka: Parametrická studie chování korozního důlku. Výzkumná zpráva ÚTAM 1992.
3. M.Micka: Modelování vlivu geometrických imperfekcí na trubní napjatost plynovodního potrubí. Proc.of 2nd International Colloquium "Operational reliability of high-pressure gas pipelines...", Prague March 1993.
4. J.Jíra, J.Jírová, P.Pařízek: Experimentální výzkum potrubí vtl plynovodů s modelovými defekty. Proc.of 2nd International Colloquium "Operational reliability of high-pressure gas pipelines...", Prague March 1993.
5. J.Jíra, J.Jírová: Analýza deformačních procesů ve stěně potrubí 426/6 s umělými defekty. Výzkumná zpráva ÚTAM 1993.

Ing.Michal Micka, CSc., doc.Ing.Josef Jíra, CSc., Ing.Jitka Jírová, CSc.,
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR,
128 49 Praha 2, Vyšehradská 49,
tel. 29 64 51, fax 29 59 03.
Ing.Petr Pařízek,
Plynoprojekt, 110 00 Praha 1, Národní 38,
tel. 76 69 12, fax 76 86 46.