EAN '94

32th Conference of Experimental Stress Analysis
32. konference o experimentální analýze napětí
30. 5. - 2. 6. 1994 VŠST Liberec Czech Republic

STRENGTH OF CORROSION SURFACE WEAKENING OF HIGH-PRESSURE PIPELINE.
PEVNOST PLOŠNÝCH KOROZNÍCH ZESLABENÍ VYSOKOTLAKÝCH POTRUBÍ.

Jíra J., Jírová J., Roun P.

In this article we will discuss the effects of extensive weakenings which are a consequence of areal and depressive corrosion due to deformation processes in the wall of loaded high-pressure gas pipeline mains caused by internal pressure. An experimental method to analyse the behaviour of pipelines with models of surface corrosion defects was devised in the form a hydraulic strength test. Based on the results, criteria were deduced to estimate the acceptance and strength of areally corrosion-damaged walls of operating gas pipelines.

1. Úvod.

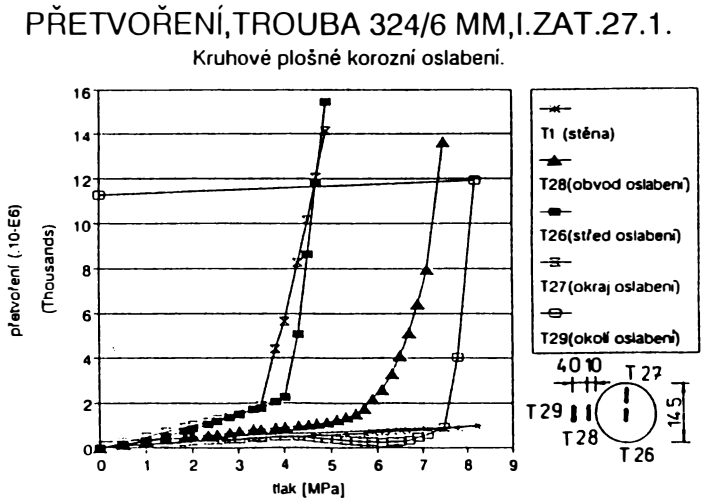
Korozní poškození, které může významně zeslabit stěnu vysokotlakého (vtl) potrubí plynovodního rozvodného systému uloženého v zemi, je těžko předvídatelné. Obvykle vzniká tam, kde se izolace odtrhne od vnější stěny provozovaného potrubí a vytvoří tzv. kapsy vyplněné v terénu vodou. Rychlost lokálního úbytku stěny vlivem koroze závisí pak na agresivitě obklopujícího prostředí a může být lokálně mnohdy vyšší, než plyne z průměrných hodnot úbytku stěny. Napadení stěny je nerovnoměrné podle kombinace reálných podmínek a proto vznikají korozní poškození různého tvaru a rozsahu. V zásadě můžeme rozlišit dva typy lokálního zeslabování stěny potrubí korozí. Jde buď o plošně velice malá, ale dosti ostrá zeslabení, která můžeme chápat jako vruby nebo vznikají plošně rozsáhlejší zeslabení nejprve ve tvaru důlků [1], které se buď v omezeném plošném rozsahu prohlubují a nebo se postupně spojují a procházejí do hloubky stěny, často v rozsáhlém reliéfu nepravidelného celkového oslabení potrubí. Ostřejší úzké brázdy lze považovat z hlediska pevnosti za vruby s narušeným kořenem mikrotrhlinkami a jejich účinek je nutno posuzovat z hlediska lomové mechaniky a podle kritérií únavové pevnosti při opakovaném namáhání [2].

Jako součást rozsáhlého experimentálního výzkumu pro stanovení mezních podmínek při rehabilitaci dlouhodobě provozovaných vtl plynovodních potrubí byla rovněž provedena analýza vlivu rozsáhlejších plošných korozních oslabení na deformační procesy ve stěně těchto potrubí během zatěžování vnitřním tlakem. Cílem bylo vytvořit kritéria pro stanovení přípustnosti plošných korozních defektů na základě odhadu jejich pevnosti, což vytváří jeden z předpokladů pro provedení úspěšné rehabilitace vtl plynovodů.

2. Tenzometrická měření.

Výzkum prováděly společně Ústav teoretické a aplikované mechaniky, Státní výzkumný ústav materiálu a Plynoprojekt v rámci dílčího úkolu koordinovaného ÚTAM [3]. Na základě znalostí z předcházejícího výzkumu byly provedeny hydraulické pevnostní zkoušky tlakových nádob vyrobených z vybraných konkrétních typů potrubí: (i) bezešvé trubky - 159/4.5 mm, 324/7 mm, 530/8 mm, (ii) podélně svařovaná trubka - 630/9 mm, (iii) spirálově svařované trubky - 324/6 mm, 426/6 mm, které jsou z feriticko-perlitických uhlíkových ocelí. Ve stěnách tlakových nádob byly vyrobeny ve SVÚM modely různých typů korozních vad tak, aby se navzájem neovlivňovaly při pevnostní zkoušce. Typy modelů plošných korozních vad byly zhotoveny ve tvaru: (a) kruhového plošného oslabení s průměrem d=145 mm a hloubkou 2/3 původní tloušťky stěny, (b) podlouhlého plošného oslabení s délkou l=145 mm a šířkou š=30 mm s půlkruhovým zakončením a stejnou hloubkou jako u kruhového oslabení. Součástí pevnostních testů byly komplexní materiálové zkoušky ocelí trubek. Před zahájením testů byla provedena defektoskopická kontrola tlakových nádob, zejména všech výrobních svarů, aby byly odhaleny případné vady, které by mohly ovlivnit průběh pevnostní zkoušky.

Měření deformačních veličin se provádělo ve vybraných místech pomocí tenzometrů. Základní rozmístění tenzometrů bylo během všech pevnostních zkoušek stejné. To umožnilo porovnávat výsledky jednotlivých zkoušek a formulovat zákonitosti deformačních procesů v místech korozí oslabené stěny. Tenzometry byly rozmístěny především uvnitř vad a pak při vnějším okraji defektů. Pro kontrolní pozorování byly nalepeny tenzometry na plné stěně trubky. Cílem tenzometrických měření bylo získat informace o podmínkách rozvoje obvodových a podélných přetvoření uvnitř umělých vad, o přechodu do plastického stavu a o vzniku porušení v těchto místech během zatěžování. Abychom lépe porozuměli lokálnímu rozvoji přetvoření bylo toto schéma během výzkumu doplňováno o další tenzometry. Bylo nutno zjistit do jaké vzdálenosti od okraje plošného defektu během zatěžování vnitřním tlakem zasahuje deformační proces. Po prvních destrukcích tlakových nádob se ukázalo, že jedním z nejslabších míst kruhového plošného oslabení je oblast přechodu do plné stěny trubky, i když byla vyrobena s plynulými kruhovými přechody mezi dnem vady a plnou stěnou trubky

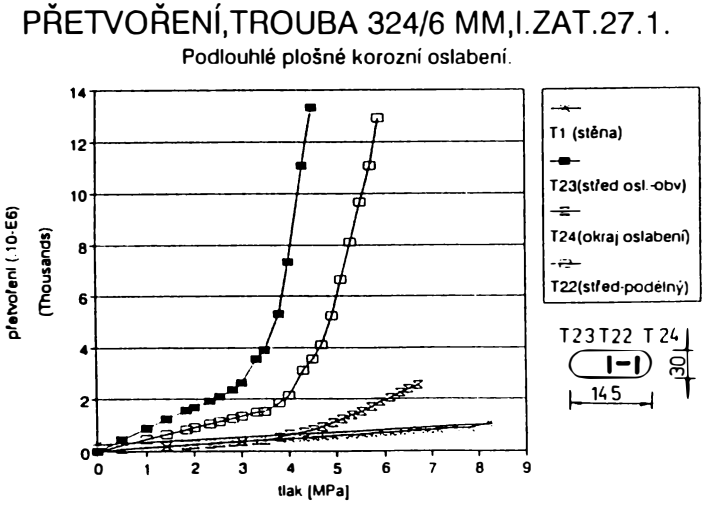


Obr. 1.

3. Vyhodnocení pevnostních zkoušek.

Deformační proces u všech modelů plošných korozních oslabení měl podobné rysy, bez ohledu na to o jaký výrobní typ potrubí se jednalo. Pro relativní srovnání rozvoje přetvoření u defektů je u všech grafů uveden průběh obvodové deformace měřené obvodovým tenzometrem (T1) umístěným na neoslabené stěně potrubí.

Rozvoj přetvoření u **kruhového plošného oslabení** (obr.1) je zřejmý z průběhu deformací naměřených při I.zatěžovacím cyklu. Tenzometr umístěný ve středu defektu [T26] ukazuje, že k rozvoji plastických deformací dochází v oslabené tloušťce brzy po začátku zatěžování. Průběh přetvoření u okrajových tenzometrů [T27] naznačil i způsob porušení kruhové plošné vady, kdy se defekt u některých trubek porušil obvodovou trhlinou v přechodu mezi oslabeným dnem a plnou stěnou nebo došlo k porušení podélnou trhlinou v nejvíce zplastizované a oslabené části dna plošného defektu. U tenzometrů umístěných na obvodu oslabení [T28] dochází k odchylce od lineárního průběhu až při vyšších tlacích. Během zatěžování dochází u kruhového plošného oslabení vlivem plastické deformace k dalšímu oslabování dna a postupně k jeho plastickému vyboulení. Tento deformační proces se dále rozšiřuje a po překonání odporu ztužujícího okraje vady zasahuje plnou stěnu trubky v okolí defektu [T29]. Tento tenzometr vykazuje nejprve průběh přetvoření jako T1 a později dochází k prudkému rozvoji jeho deformace důsledkem plastického bouleni blízkého okolí vady



Obr.2.

Podobně se chovalo při zatěžování **podlouhlé plošné oslabení** (obr.2), které se obvykle porušilo při jen málo rozdílné velikosti vnitřního tlaku ve srovnání s kruhovým, přičemž pořadí destrukce obou vad se měnilo, což záviselo pravděpodobně na způsobu výroby obou defektů. V tomto případě nastal rychlý rozvoj deformace ve středu podlouhlého oslabení v obvodovém směru [T23] ve srovnání s podélným směrem [T22]. Vlivem účinku ztužujícího obvodu vady se přetvoření na okraji oslabení [T24] rozvíjí pomaleji. Stejně jako v předešlém případě zasahuje deformace po plastickém vyboulení dna vady blízké okolí defektu. Podlouhlé plošné oslabení se porušuje výrazným zeslabením dna plastickou deformací, která se nakonec projeví otevřením do podélné trhliny

U kruhové a podlouhlé plošné vady vznikla trhlina vždy v oslabené stěně a to v místech dalšího a výrazného zeslabení dna defektu rozvojem plastické deformace. Vlivem rozvoje plastické deformace a také vlivem redistribuce napětí při plastickém vyboulení se vrubový účinek prakticky neuplatňuje a rozvoj destrukčních trhlin se u těchto defektů zastavil v přechodové oblasti mezi zeslabením a plnou stěnou potrubí. Lomy, které vznikly v průběhu zatěžování na jednotlivých defektech, měly tvárný charakter a byly vždy doprovázeny výraznou plastickou deformací v blízkém okolí.

Je třeba mít na zřeteli, že plošný defekt představuje významné oslabení stěny vtl potrubí, proto může dojít při drastickém zvýšení vnitřního tlaku k úplné saturaci zpevnění dané značným rozsahem plastické deformace. Další přetěžování vede již k porušení oslabené stěny vtl plynovodního potrubí.

Výzkum prokázal, že u plošných korozních oslabení je rozhodující délka vady v podélném směru potrubí a její hloubka. Na obvodovém rozměru defektu, až do určité hodnoty, přípustnost vady prakticky nezávisí. Dosažené výsledky potvrdily fakt, již dříve zjištěný ve VÚZ Bratislava, že obvodový rozměr plošné vady do velikosti $\pi D/8$ prakticky neovlivní spolehlivost potrubí. Rozsáhlejší korozní oslabení je možno připouštět v podélném směru do délky D/3 s maximální hloubkou vady do 40% plné tloušťky stěny vtl potrubí. Toto kritérium však neplatí, pokud by byly ve dnu defektu nebo jeho blízkém sousedství nalezeny ostré povrchové vady. V takovém případě provedené experimenty ukázaly, že během zatěžování dochází v oslabeném dně k otevření těchto ostrých vad, což se projevuje při zatížené tlakové nádobě únikem vody ve formě mlžného oparu.

Vtl plynovodní potrubí jsou vyrobena z ocelí s velkou plastickou reservou, neboť poměr mezi mezí kluzu a mezí pevnosti (Rp0,2/Rm) se pohybuje od 0,6 do 0,75, což umožňuje připustit u plošných defektů poměrně velkou lokální deformaci. Hodnoty napětí v místech těchto vad nejsou rozhodující, protože se nejedná o ostré koncentrace napětí, ale o lokální pole se zvýšenou velikostí napětí. Rozhodující je míra plastického přetváření plošného defektu při stoupajícím vnitřním tlaku a reserva proti plastické nestabilitě dna vady.

Literatura:

1. M.Micka, J.Jíra, J.Jírová, P.Pařízek: Modelová analýza napjatosti korozního důlku potrubí. Sborník 31.konference EAN, Měřín 1993.
2. J.Němec: Pevnost a životnost potrubí vtl plynovodů. SNTL, Praha 1989.
3. J.Jíra, J.Jírová, P.Pařízek: Experimentální výzkum vtl plynovodů s modelovými defekty. Sborník 2.mezinárodního technického kolokvia "Provozní spolehlivost vtl plynovodů po dlouhé době jejich provozu a jejich rehabilitace", Praha 1993.

Doc.Ing.Josef Jíra,CSc., Ing.Jitka Jírová,CSc., Ing.Pavel Roun,
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, 182 00 Praha 8, Pod vodárenskou věží 4,
tel. 6641 1804 l.279 nebo 6605 2482, fax 798 7261.