



**COLLATION OF STRAIN GAUGE MEASURING WITH CALCULATION OF
STRESS IN NEIGHBOURHOOD OF SPIRAL WELD OF PIPE.
KONFRONTACE TENZOMETRICKÉHO MĚŘENÍ S VÝPOČTEM NAPĚTÍ V
OKOLÍ TRUBNÍHO SPIRÁLOVÉHO SVARU.**

Josef JÍRA, Jitka JÍROVÁ, Michal MICKA, Pavel ROUN.

The investigated high-pressure gas pipeline is spiral welded and therefore the stress state of a pipe wall is complicated. Geometrical imperfections in welded joints and other inaccuracies of the pipeline form due to its production play their role in the stress state of the pipeline. Because the total length of the welded joints is enormous, it is necessary to devote attention to an analysis of the stress state and the deformation process of environs of the spiral-weld of a pipeline. The article deals with an experimental investigation and a numerical analysis of the stress and strain state in environs of the spiral-weld.

Úvod.

V současné době jsou pro výstavbu vysokotlakých (vtl) plynovodů převážně používány spirálově svařované trubky. Proto je nutné porozumět rozvoji napětí a deformačním procesům v blízkém okolí výrobního spirálového svaru, které se mnohdy stává rozhodující pro vznik porušení ve vtl plynovodním potrubí. Celková délka svarových spojů je obrovská a proto statistika materiálového výzkumu ukazuje, že variační součinitelé vlastností materiálu jsou vyšší, neboť vznikají značné rozptyly vlastností ve svarových spojích, např. změna lomové houževnatosti. Rovněž vliv geometrických nedokonalostí je vyšší v místech, kde jsou svarové spoje. Projevuje se zde vliv nekruhovitosti průřezu, přesazení plechů, převýšení svarů, popřípadě střechovitost podél spojů. Tyto všechny nepříznivé podmínky způsobují přidavná napětí k základnímu napětí stěny potrubí, které je vyvoláno vnitřním přetlakem. Současně se u spirálově svařovaných potrubí projevuje z procesu výroby ve stěně vyšší stav vnitřních pnutí.

Geometrické imperfekce ve stěně potrubí a přidavná napětí od vnějšího zatížení mohou přivodit ve stěně značnou koncentraci napětí. Přitom je nepříznivá okolnost, že spirálové svarové spoje vyvolávají ve stejných místech geometrické nepřesnosti i necelistvosti a současně vyšší hladinu vlastních pnutí. Vlastní pnutí v oblasti svarových spojů se uplatňuje podle povahy mezního stavu potrubí a podle úrovně a orientace pole tohoto pnutí k hlavním směrům základního napětí ve stěně potrubí. Při přesazení hran plechů u spirálového svaru záleží však na poměrné velikosti přesazení a i na zaoblení v místě přesazení. Dále bývá mnohdy přechodový úhel mezi svarovým kovem a základním materiálem na čelní straně postupu nepříznivý, což rovněž přispívá k nepříznivým lokálním efektům.

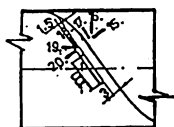
Tenzometrická měření.

Během experimentálního výzkumu bylo při pevnostních hydraulických zkouškách vyšetřováno 5 typů tlakových nádob vyrobených ze spirálově svařovaných trubek: 530/8 mm, ohyb 530/8 mm, 630/7 mm, 324/6 mm a 426/6 mm, z čehož první hodnota udává velikost vnějšího průměru a druhá hodnota udává tloušťku stěny potrubí. Celý výzkum je součástí projektu koordinovaného Plynoprojektem. Ve všech případech bylo pomocí tenzometrů vyšetřováno chování okolí spirálového svaru. Před vlastními zkouškami byly podle předem vypracované metody provedeny zkoušky tahových vzorků pro určení materiálových charakteristik ve vybraných místech trubního tělesa. Již v této fázi výzkumu se mnohdy ukázalo, že informace o vlastnostech použitého materiálu od výrobních závodů se rozcházejí s charakteristickými hodnotami získaných při těchto tahových zkouškách, čemuž bylo nutno přizpůsobit celý proces pevnostní hydraulické zkoušky. Zároveň byly tímto způsobem získány nutné informace o vlastnostech materiálu v blízkém okolí spirálového svaru pro různé typy plynovodních trub a o pevnosti spirálového svaru.

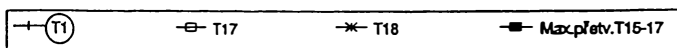
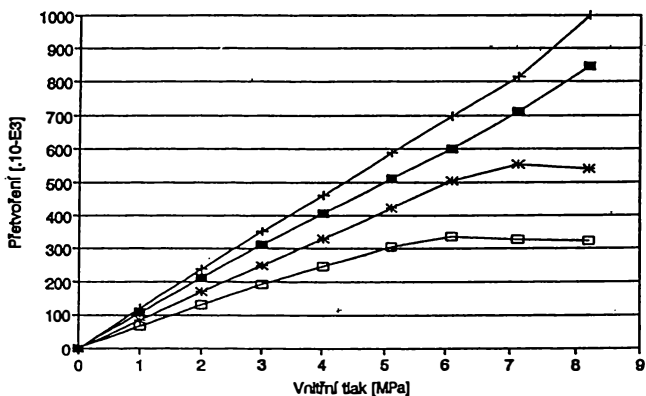
Na zkušební tlakovou nádobu byly nalepeny tenzometry pro určení obvodových a podélných přetvoření ve vybraných místech tlakové nádoby a byl rovněž sledován rozvoj přetvoření v okolí spirálového svaru. Metoda tenzometrických měření byla společná pro všechny druhy zkoušek. Cílem bylo získat komplexní přehled o deformačních procesech ve stěně vtl potrubí a koncentracích napětí ve všech exponovaných místech.

V bezprostředním okolí spirálového svaru byly nalepeny tenzometry ve tvaru růžice, abychom mohli provést analýzu rozvoje hlavních napětí a přetvoření ve vybraných místech. Pro vyšetřování vlivu spirálového svaru na vznik a šíření porušení byly v dalších etapách v blízkosti tohoto svaru vyrobeny umělé defekty ve tvaru zářezu, přičemž byly vedeny buď ve směru rovnoběžném se spirálovým svarem nebo rovnoběžně s podélnou osou trubky.

Složitost deformačních procesů probíhajících v okolí spirálového svaru lze dokumentovat na analýze chování dvou vybraných, spirálově svařovaných, trubek. Jedná se o neprovozovanou trubku 324/6 mm z oceli 11 375.1 a o trubku 630/7 mm z materiálu 11 373,



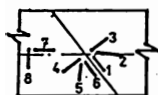
PŘETVOŘENÍ VE STĚNĚ POTRUBÍ 324/6 mm



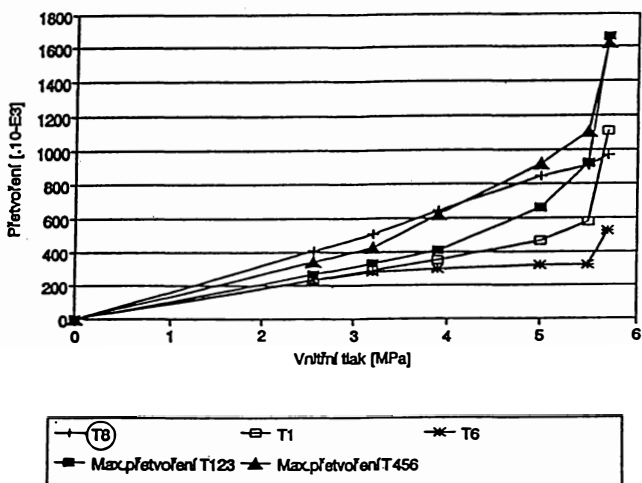
Obr. 1.

kteřá byla provozována při tlaku 2,5 MPa po dobu 25 let. V obou těchto případech materiálové charakteristiky získané při tahových zkouškách vykazovaly přijatelné hodnoty, což znamená, že hodnoty meze kluzu a meze pevnosti pro základní materiál odpovídají normovým hodnotám a neliší se výrazně od hodnot získaných při tahových zkouškách vzorků odebraných z tepelně ovlivněné oblasti.

Na obr. 1 jsou ukázány grafy rozvoje přetvoření ve stěně potrubí 324/6 mm pro zatěžování vnitřním tlakem do 9 MPa. Je zcela zřejmé, že spirálový svar ztužuje válcovou skořepinu tělesa vln plynovodního potrubí, což vyplývá z průběhu grafů tenzometrů T17 a T18, které jsou nalepeny rovnoběžně se spirálovým svarem. Zároveň z průběhu těchto grafů vyplývá, že v bezprostřední blízkosti svaru dochází k vyrovnání lokálních geometrických imperfekcí, kdy u T17 se zastaví rozvoj přetvoření přibližně při 6 MPa a u T18 při vnitřním tlaku 7 MPa. Je však nutno konstatovat, že T18 je nalepen v blízkosti umělého defektu, který rozvoj deformací v této lokalitě uvolňuje. Největší rozvoj přetvoření je možno sledovat u průběhu T1, který je nalepen v obvodovém směru uprostřed mezi spirálovými svary. Hodnoty přetvoření u T1 jsou pro všechny tlaky větší než hodnoty maximálního hlavního přetvoření v blízkosti svaru.

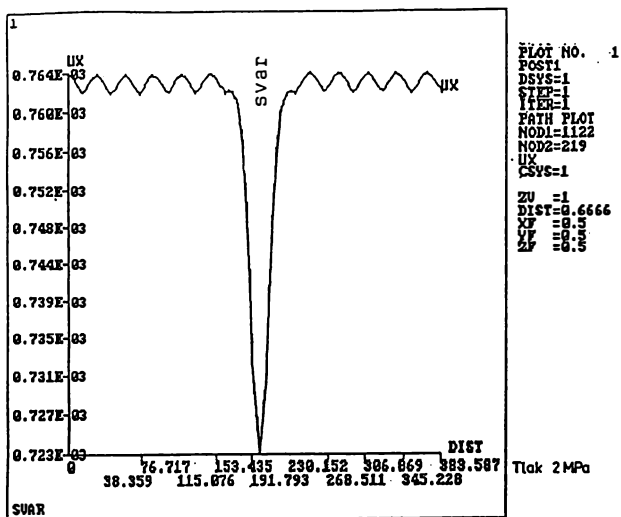


PŘETVOŘENÍ VE STĚNĚ POTRUBÍ 630/7 mm



Obr.2.

Na obr. 2 jsou ukázány průběhy naměřených přetvoření u trubky 630/7 mm. Tenzometr T8 ukazuje rozvoj obvodových přetvoření ve stěně této trubky. Hodnoty přetvoření v běžné stěně jsou do velikosti zatěžovacího tlaku 4 MPa větší než v blízkosti spirálového svaru (viz T1, T6). Od této velikosti vnitřního tlaku dochází k prudkému rozvoji přetvoření v blízkosti spirálového svaru a jeho hodnoty jsou větší než v běžné stěně trubky. Lze konstatovat, že spirálový svar ztrácí svůj ztužující účinek na trubní těleso. Defektoskopická kontrola spirálového svaru prováděná ve SVÚM odhalila velký počet lokálních studených spojů po hranici natavení vnitřního svaru, mnohdy s místním výskytem strusky. Přesazení spodního a horního svaru přispělo k tomu, že při vaření vnějšího svaru nedošlo k provaření a k homogennímu propojení obou svaru. Těmto skutečnostem nasvědčuje zejména průběh max. přetvoření T123 a T456 vypočítaný z hodnot naměřených u tenzometrických různých.



Obr.3.

Numerické modelování.

Modelování pole napětí a přetvoření v okolí spirálového svaru potrubí vtí plynovodu bylo provedeno na základě využití programu ANSYS 4.4A. Řešení předpokládá pružné chování materiálu a modelem okolí svaru je výřez kolmý na svar ve tvaru úzkého pásu, kdy svar je umístěn uprostřed. Výřez má délku rovnou šířce pásu plechu, ze kterého je trubka svařena. Okrajové podmínky na stranách modelového pásu splňují podmínky symetrie. Model je rozdělen do několika zón s odlišnými materiálovými vlastnostmi podle výsledků tahových zkoušek, což umožňuje modelovat vlastnosti v tepelně ovlivněné oblasti podél spirálového svaru. V modelu svaru je možno modelovat geometrické imperfekce (přesazení, převýšení ap.). Model umožňuje nalézt koncentrace obvodového napětí, modelovat pole napětí v blízkém okolí spirálového svaru a popsat rozvoj deformací stěny potrubí.

Graf na obr.3 ukazuje průběh posunutí v radiálním směru (ux) pro trubku 324/6 mm při vnitřním tlaku 2 MPa. Z grafu je patrný vliv větší tuhosti svaru a tedy menší průhyb pláště trubky, i když rozdíl při tomto tlaku nejsou z hlediska velikosti tak výrazné.

Závěr.

Numerickým modelováním lze v daném případě zjistit napjatost v okolí spirálového svaru i pole deformací. Výsledky jsou však ovlivněny volbou modelu, vstupem materiálových charakteristik do výpočtu a modelováním okrajových podmínek. Rozdíl zjištěné z experimentálního výzkumu mezi trubkami však naznačují, že je nutno při numerickém modelování porovnávat model s experimentálními výsledky, což pak v případě dostatečně přesné shody umožňuje provést parametrické studie chování trubek se spirálovými svary.

Doc. Ing. Josef Jira, CSc., Ing. Jitka Jírová, CSc., Ing. Michal Míčka, CSc., Ing. Pavel Roun,
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR, 128 49 Praha 2, Vyšehradská 49,
tel. 29 64 51, fax 29 59 03.