EAN 93
31. konference o experimentální analýze napětí
25.-27.5.1993 Měřín ČESKÁ REPUBLIKA

USING REFLECTION PHOTOELASTIC MEASURING FOR RESEARCH OF PIPELINE DEFECTS.
VYUŽITÍ REFLEXNÍ FOTOELASTICIMETRIE PŘI VÝZKUMU DEFEKTŮ POTRUBÍ

Simona JUNKOVÁ, Josef JÍRA, František KOLÁŘ

The paper deals with investigation of the stress state of a pipe wall with models of defects in the shape of a circumferential crack or a corrosion pit. The experimental research of local effects was carried out by means of the reflection photoelastic measuring. The attention was paid to the assessment of stress concentrations in the areas of these discontinuities of the pipe wall. The aim was to find magnitudes of stress peaks on the crack front for the various values of the internal pressure and to describe the process of deformation of an area around the model of the corrosion pit during loading of a pipe.

Úvod.

Příspěvek se zabývá použitím metody reflexní fotoelasticimetrie při analýze pole napětí v bezprostředním okolí defektu ve stěně potrubí. Byly zkoumány dva typy defektů, kterými jsou obvodový vrub ve stěně tlustostěnné trubky z okruhu jaderné elektrárny a hluboký, omezený korozní důlek vysokotlakého (vtl) plynovodního potrubí. V obou případech byl výzkum prováděn na uměle vyrobených defektech. Pozornost byla rovněž věnována posouzení míst s koncentrací napětí tak, aby bylo možno vytvořit podklady pro numerickou analýzu uvedených problémů.

V prvním případě se jedná o defekt ve tvaru zářezu ve svarovém spoji mezi dvěma tlustostěnnými trubkami z různých materiálů, který je umístěn v obvodovém směru. Cílem bylo popsat rozvoj napětí na čele tohoto umělého vrubu při namáhání trubky na různou velikost vnitřního přetlaku.

V druhém případě byl prováděn experimentální výzkum chování korozního důlku, jako součást pevnostních hydraulických zkoušek vtl plynovodního potrubí, které slouží pro určení mezních podmínek metody rehabilitace těchto potrubí. Ve stěně spirálově svařované trubky o vnějším průměru 426 mm a tloušťce stěny 6 mm byly vyrobeny různé typy umělých defektů o různé velikosti, z nichž jedním byl model osamělého hlubokého a omezeného korozního důlku o tloušťce dna cca 30% původní tloušťky stěny trubky. Byl sledován rozvoj pole napětí v jeho okolí během namáhání trubky různými hodnotami vnitřního přetlaku.

Metoda.

Přilepíme-li na konstrukci tenkou fólii z opticky citlivé hmoty, můžeme povrchové deformace konstrukce studovat metodou reflexní fotoelasticimetrie. V současné době se k přípravě fotoelasticimetrických fólií používají převážně epoxidové pryskyřice různým způsobem modifikované. Často je však zapotřebí pokrýt fólií zakřivenou plochu, jako je tomu v našem případě. Pro tento účel byla Zandmanem vyvinuta tzv. metoda volného listu. Fólie se připraví odlitím vhodného předpolymeru na vodorovnou plochu. Ve vhodném okamžiku, kdy je ještě polymer gelovitý, se fólie sejme a natvaruje na konstrukci. Po vytvrzení kopíruje fólie věrně tvar vyšetřované plochy.

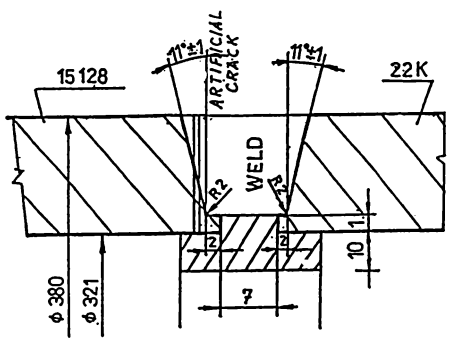
Při výběru vhodných hmot pro metodu volného listu jsme v našem případě omezeni na materiály, které jsou tvrditelné při pokojové teplotě. Navíc musí mít odlévací směsi nízkou viskozitu. Při našem výzkumu jsme používali směs složenou z pryskyřice Epoxy 15, DBM a tvrdidla P1 v určitém poměru. Množstvím odlévací směsi jsme řídili tloušťku fólie. Formu tvoří skleněná deska a rámeček ze silikonové pryže. Je umístěna na vodorovné ocelové desce vyhřívané pomocí topných vodičů na teplotu 35°C, přičemž teplota je řízena tyristorovým regulátorem. Dotvrzení proběhne při teplotě 20°C během 24 hodin. Fólii přilepíme na trubku lepidlem Epoxy 1200 s přídavkem hliníkového prášku. Lepidlo tedy současně tvoří reflexní vrstvu.

Po vytvrzení lepidla narýsujeme na fólii síť měřičských bodů, ve kterých provádíme kompenzační měření. V několika vybraných místech měřeného objektu nalepíme jednoduché tenzometry a tenzometry ve tvaru kříže. Hodnoty tenzometrických měření tvoří srovnávací údaje pro vyhodnocení reflexní fotoelasticimetrie výpočtem z kompenzačních měření směrů hlavních napětí a velikostí rozdílů hlavních napětí, respektive průběhů normálových napětí v kartézských souřadnicích. Při tomto experimentálním postupu se s výhodou používá symetrických vlastností vyšetřovaných jevů a konstrukce.

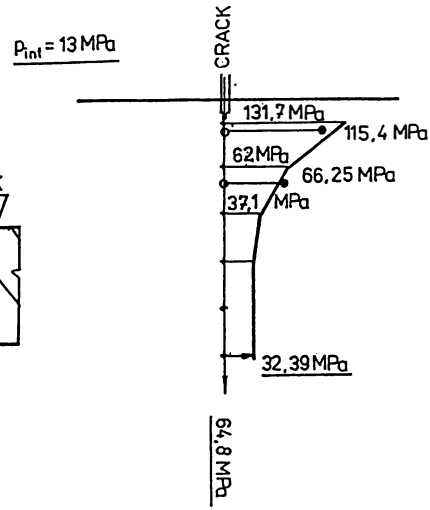
Provedené zkoušky.

Vyšetřování průběhu velikostí koncentrací napětí na čele umělé trhliny ve tvaru obvodového zářezu ve svarovém spoji speciálních tlustostěnných trubek o vnějším průměru 380 mm a vnitřním průměru 321 mm z potrubí jaderné elektrárny bylo prováděno ve spolupráci s Ing.V.Svobodou z Modřanských strojíren. Svarový spoj spojuje dvě tlustostěnné trubky ze dvou různých materiálů a to oceli 15 128 a oceli 22K. Obvodový zářez o délce 170 mm a šířce 2 mm byl proveden skrz celý svarový spoj tak, aby v blízkosti kořene svaru procházel i základním materiálem 15 128 (obr.1). Po provedení byl tento umělý defekt zaslepen z vnitřní strany záplatou.

Na obou koncích vrubu byly nalepeny fólie o velikosti 103x72 mm opatřené reflexní vrstvou.Obě fólie byly nalepeny tak, aby v délce 5 mm překrývaly čelo defektu. V jedné fólii bylo vytvořeno vybrání pro umístění dvou tenzometrických růžic pro měření přetvoření během tlakování. První tenzometrická růžice byla umístěna v těsné blízkosti čela umělého vrubu a druhá růžice ve vzdálenosti 11 mm od první, což bylo v souladu s měřičskou sítí pro reflexní fotoelasticimetrii, narýsovanou na symetricky umístěné fólii na druhé straně trhliny. V první fázi byla takto poškozená trubka namáhána vnitřním přetlakem o velikosti 8,2 MPa a 13 MPa. Vyhodnocování se provádělo na základě vyšetřování údajů kompenzačních měření směrů a rozdílů hlavních napětí. Na základě symetrických vlastností defektu byly zjištěné údaje kontrolovány na protilehlé fólii. Průběžné kontroly prokázaly dobrou shodu naměřených hodnot, což je důkazem správnosti získaných výsledků.



Obr.1. Detail svaru s vrubem.

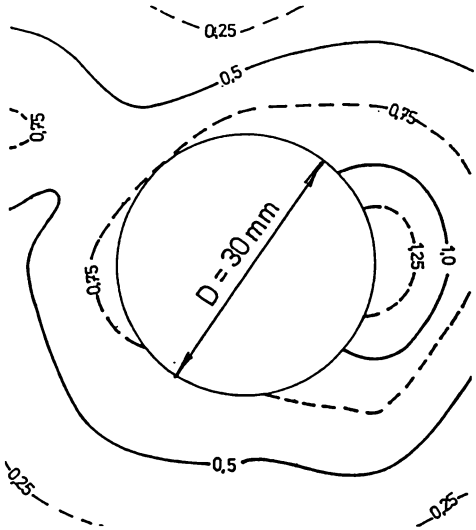


Obr.2. Průběh napětí na čele vrubu.

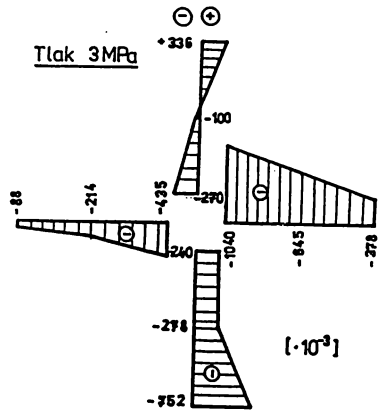
Měření na čele vrubu ukazují, že velikost koncentrace napětí v podélném směru zde dosahuje přibližně dvojnásobku velikosti nominálního obvodového napětí ve neoslabené stěně trubky při vnitřním přetlaku 13 MPa (obr.2). V případě vnitřního přetlaku 8,2 MPa se jedná pouze o 1,75 násobek. Tyto koncentrace napětí vymizí cca ve vzdálenosti 25 mm od čela vrubu, což je 15% délky tohoto umělého defektu. V této vzdálenosti velikosti obvodového a podélného napětí dosahují hodnot , které můžeme získat klasickým výpočtem pro trubní napjatost, což potvrdila i tenzometrická měření.

Vyšetřování rozvoje deformačního procesu v okolí korozního důlku bylo prováděno u trubky vtl plynovodu 426/6 mm z oceli 11 375.1. Ve stěně tlakové nádoby vyrobené z uvedené trubky byl vyroben ve SVÚM model hlubokého a osamělého důlku o průměru 30 mm a hloubce 4 mm. Na stěnu byla nalepena fólie o rozměrech 200x200 mm tak, že střed důlku byl umístěn cca v 1/3 fólie ve směru podélném a v 1/2 v obvodovém směru. Důlek byl do fólie před jejím vytvarováním a nalepením vyražen speciálním průbojníkem. Na dno důlku byla rovněž nalepena reflexní fólie. V závislosti na rozměrech měřící sítě, která byla narýsována na fólii, byly na trubku symetricky od středu důlku nalepeny tenzometry, které stanovily srovnávací hodnoty pro vyhodnocování fotoelasticimetrických měření.

Měření byla prováděna pro zatížení vnitřním přetlakem 3 MPa, 4 MPa a 5 MPa. Zjištěné hodnoty napětí z fotoelasticimetrických měření potvrdily složitý průběh deformačního procesu v okolí modelu korozního důlku. Mimo celkové deformace stěny trubky dochází v blízkém okolí důlku k vyboulování jeho okraje, které v průběhu zatěžování zasahuje stále větší oblast v jeho okolí. O tomto deformačním procesu svědčí i obklopující oblast tlakových napětí na vnějším povrchu stěny trubky, která je důsledkem lokálního ohybu. Zkracování vnějších povrchových vláken bylo potvrzeno následujícími tenzometrickými měřeními. Zároveň během zatěžování dochází ke změně kruhového tvaru důlku na eliptický.



Obr.3. Isochromaty při tlaku 3 MPa.



Obr.4. Schema přetvoření v okolí důlku.

Závěr.

Provedené zkoušky prokázaly, že použití metody povlakové fotoelasticimetrie pro vyšetřování pole napětí v pružném oboru na povrchu stěny v okolí defektů trubního tělesa je po stránce kvalitativní i kvantitativní dostatečně přesné a časově a finančně nepříliš náročné. Dává nám přehled o rozložení koncentrací napětí, což pak umožňuje lepší využití tenzometrie. Na základě výsledků z těchto fotoelasticimetrických měření je možno v dalším kroku výzkumu přesně nalepit tenzometry do těch míst na konstrukci, které potřebujeme podrobně prozkoumat.

Ing.Simona Junková, doc.Ing.Josef Jíra,CSc.,
Ústav teoretické a aplikované mechaniky AV ČR,
Vyšehradská 49, 128 49 Praha 2,
tel.29 64 51, fax 29 52 03.
RNDr František Kolář,
Ústav geotechniky AV ČR,
V Holešovičkách 41, 182 09 Praha 8,
tel. 82 00 51, fax 84 21 34.