



30th Conference of Experimental Stress Analysis
30. konference o experimentální analýze napětí
2. - 5. 6. 1992 ČVUT Praha Czechoslovakia

LIMIT STATE OF PIPE-LINE WITH SURFACE DEFECT - EXPERIMENTAL AND NUMERICAL COMBINED APPROACH

MEZNÍ STAV POTRUBÍ S POVRCHOVÝM DEFEKTEM - KOMBINOVANÝ EXPERIMENTÁLNÍ A NUMERICKÝ PŘÍSTUP

Valenta F., Španiel M.

This paper describes method outlined (in department of elasticity and strength of materials of Prague Technical University), to analyse limit state of corroded pipe-lines. It is based on state space of plastic area geometry parameters. Trajectory (with parameter press) in this space, assigned to defect, is determined using FEM, while limit surface is determined via destructive experiments.

KEYWORDS: gas-pipe, surface corrosion, limit state, defect

Předmětem tohoto pojednání je mezní stav ztráty únosnosti potrubí poškozeného plošnou poruchou tloušťky stěny. Kvalifikovaný odhad mezního tlaku je důležitý při posuzování nebezpečnosti defektů, které se vyskytují na plynovodech a jiných potrubních systémech, zejména v důsledku korozního úbytku materiálu.

Náš model mezního stavu válcové skořepiny s poruchou tloušťky stěny předpokládá materiál s velkou zásobou plasticity, bez přítomnosti únavaových trhlin. Na základě fyzikálních představ využívá numerickou analýzu napětí jako prostředek k efektivnímu zhodnocení experimentálně získaných dat. Každý defekt je řešen s uvažováním komplexních informací jak o geometrii, tak o materiálu. Většina operací je dobře algoritmizovatelných, což umožní zpracovat tuto metodu ve formě souboru programů.

I. HYPOTÉZA O MEZNÍM STAVU POTRUBÍ S PLOŠNOU VADOU

Fyzikálním základem předkládaného modelu mezního stavu je představa, že ve stavu vysoké plastizace má na chování tělesa v rozsáhlých souvislých oblastech dominantní vliv geometrie plastické oblasti. Na základě této úvahy je formulována hypotéza:

O dosažení mezního stavu tenkostěnné válcové skořepiny s plošným povrchovým defektem rozhoduje (plošná - na válcové ploše stěny skořepiny) geometrie oblasti, ve které je stěna zplastizována po celé tloušťce nad stanovenou hranici intenzity plastické deformace, resp. intenzity napětí.

Meznou intenzitu napětí σ_{LIM} po jejímž překročení v celé tloušťce považujeme stěnu za zplastizovanou, stanovíme (viz obr. 3) na základě pracovního diagramu materiálu podle vztahu

$$\sigma_{LIM} = \frac{\sigma_K + \sigma_P}{2}$$

Hodnota σ_{LIM} je materiálový parametr, podle kterého se určují mezní plochy ve stavovém diagramu a zároveň i hodnoty stavu při zkoumaných úrovních zatížení.

II. PRINCIP STANOVENÍ MEZNÉHO STAVU

Materiálově nelineární numerickou analýzou napětí na defektu (pomocí MKP) získáme posloupnost tenzorových polí napjatosti pro zvolené úrovně zatížení. Tato pole se (ve smyslu výše uvedené hypotézy) zpracují na posloupnost aproximací geometrie plastické zóny. K experimentálně získanému destrukčnímu tlaku potrubí s definovaným defektem přiřadíme nejbližší aproximaci geometrie plastické zóny - geometrii odpovídající mezi únosností. V prostoru přípustných geometrií plastické zóny jsme získali bod **mezní plochy**. Mezní plocha poslouží jako podklad pro odhad mezního tlaku potrubí s plošnou vadou. Pro tuto vadu musíme numericky určit posloupnost aproximací plastické zóny, která představuje v prostoru přípustných geometrií **trajektorii** s parametrem zatížení (tlak). Průsečík této trajektorie s mezní plochou představuje mezní stav a tlak jím určený mezní zatížení (mezní tlak). Při realizaci této metody jde o výběr minimálního počtu co nejreprezentativnějších parametrů popisujících geometrii plastické zóny - **stavových parametrů** (při zachování spolehlivosti odhadu) tak, aby byl minimalizován počet nutných destrukčních zkoušek.

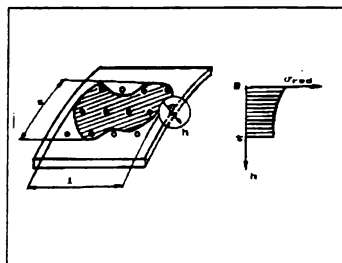
Geometrie plastické zóny může být určena způsobem znázorněným na obr.1. Na úseku trubky představujícím dostatečně velké okolí defektu vygenerujeme rovnoměrně rozložené uzly, ve kterých zkoumáme průběh intenzity napětí po tloušťce stěny - $\sigma_{red}(h)$. Pokud

$$\min_h \sigma_{red}(h) \geq \sigma_{LIM}$$

patří bod i do plastické zóny.

Příklad konstrukce mezní plochy je znázorněn pro případ dvojrozměrného stavového prostoru na obrázku 2. Stavové parametry jsou osové - I a tečný - s rozměr plastické zóny, (viz obr. 1). Mezní (plocha) křivka se konstruuje následovně:

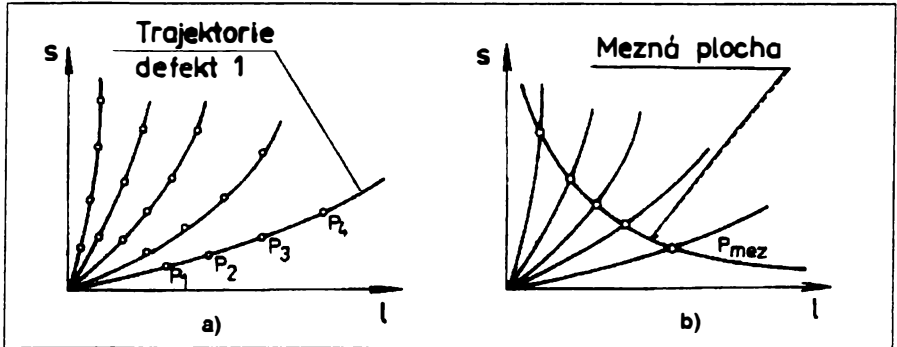
- a) návrh souboru defektů
- b) provedení numerické (MKP) analýzy napjatosti při daných úrovních zatížení p_i a získání stavů $\{I, s\}_i$ (i je číslo defektu, i je index úrovně zatížení) pro všechny navržené defekty (obr. 2a)
- c) experimentální stanovení destrukčních tlaků pro zvolený soubor defektů
- d) vynesení bodů mezního stavu na zatěžovacích křivkách a interpolace mezní křivky (obr. 2b)



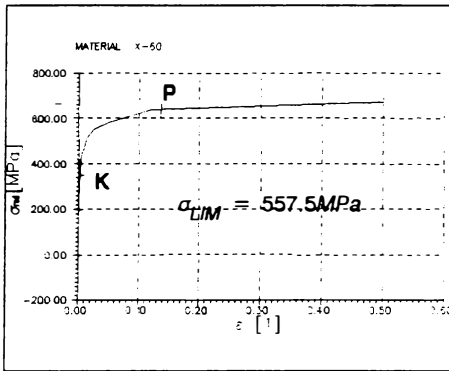
obr. 1

III. APLIKACE KRITÉRIA OSOVÉ DÉLKY PLASTICKÉ ZÓNY

Ve smyslu výše formulované hypotézy zavádíme jednorozměrný stavový prostor se stavovým parametrem I, který představuje rozměr nejdelší sečny plastické zóny, rovnoběžné s osou potrubí. Na obr. 3 je uvedena křivka materiálu X-60 a z ní odečtena hodnota σ_{LIM} . Použijme nyní výsledky analýzy napětí na dvou vadách, u kterých máme k dispozici i hodnoty destrukčních tlaků. Jedná se o vady, na nihž byly prove-

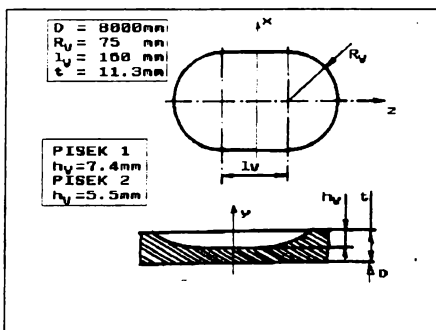


obr.2

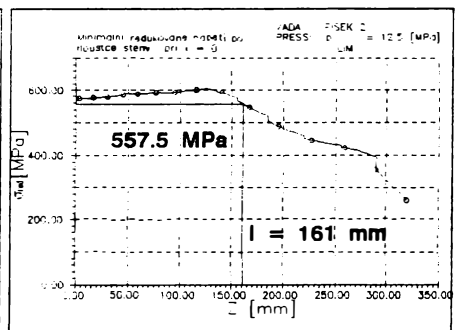


obr. 3

deny společné experimenty Katedry pružnosti a pevnosti strojní fakulty ČVUT a Tranzitního plynovodu Praha. Geometrie vad se liší pouze hloubkou (viz obr. 4). Vada označená jako "PISEK 2" (obr. 4 a 5) byla použita pro stanovení prvního odhadu mezní délky. Na obr. 8 je uvedeno porovnání naměřených a vypočtených poměrných deformací v místě $[z,x] = [7,0,0]$ pro tuto vadu. Při experimentálním stanoveném destrukčním tlaku 12.5 MPa lze určit $l_{MEZ} = 161$ mm (obr. 5). Z obrázků 6 a 7 pak na základě této hodnoty lineárně extrapolujeme mezní tlak pro vadu označenou jako "PISEK 1" a obdržíme



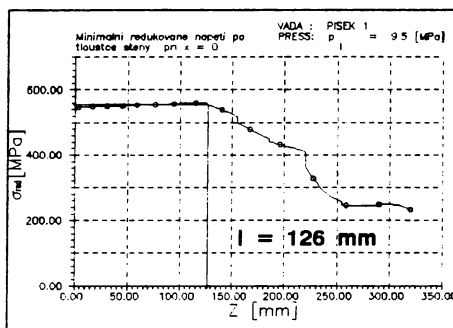
obr.4



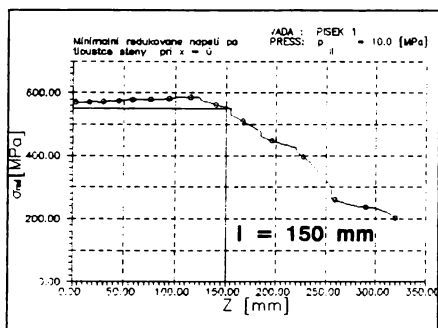
obr. 5

$$p_{MEZ} = p_I + (p_{II} - p_I) \frac{l_{MEZ} - l_I}{l_{II} - l_I} = 10.2 \text{ MPa}$$

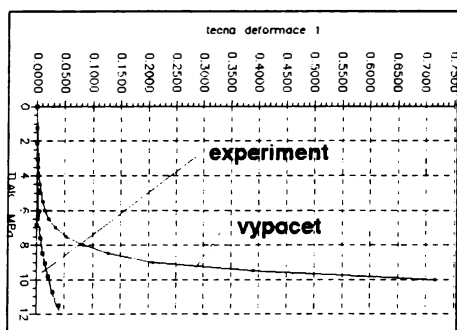
Naměřený destrukční tlak pro tuto vadu je 10.1 MPa. Tento výsledek, byť jeho statistická hodnota je nízká, svědčí o tom, že hypotéza vyslovená v předchozí kapitole je "přijatelná". V budoucnosti navrhuje ověřit jednorozměrný stavový prostor pro defekty výrazně různých rozměrů a výsledek zpracovat statisticky. Na základě těchto výsledků přejít v případě potřeby na dvojrozměrný stavový prostor.



obr. 6



obr. 7



obr. 8

LITERATURA:

- [1] Němec, J.: Pevnost a životnost potrubí vysokotlakých plynovodů, SNTL Praha 1989.
- [2] Vítek, K. - Sochor, M. - Valenta, F.: Stanovení mechanických vlastností materiálu X-60 pro napěťové zkoušky. ČVUT, výzkumná zpráva 211-90-4.
- [3] Jaunzemis, W.: Continuum mechanics. The Macmillan company, New York 1967.
- [4] Pavlík, P.: Analýza napjatosti a deformace v korozních vadách potrubí v elastické a elastoplastické oblasti. ČVUT, kandidátská disertační práce 1989.

Prof. Ing. František VALENTA, CSc,

Ing. Miroslav ŠPANIEL

ČVUT, Fakulta strojní, Katedra pružnosti a pevnosti

Technická 4, Praha 6; tel.: 332 2518, 332 2654; fax : 311 27 68