

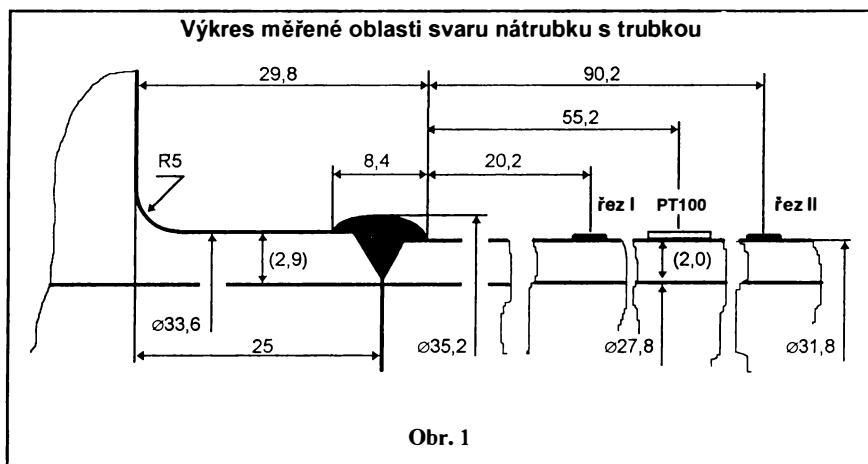
COMPLEX STRESS ANALYSIS OF PIPES IN THE COOLER APPLYING ESA AND FEM DEVICES

KOMPLEXNÍ ANALÝZA NAPJATOSTI TRUBEK CHLADIČE SPOJENÍM PROSTŘEDKŮ EAN A MKP

Jiří MICHALEC, Jan ŘEZNÍČEK

Results of the compilation of a mathematical numerical method (finite element method) and the experimental stress analysis method (strain gauge measurement) obtained when solving a complicated problem - a description of stresses in the pipe welds in a high pressure cooler are presented in this paper. The pipe welds were loaded, applying the axial force, the bending moment and the liquid pressure in the cooler, at a high temperature. The strain gauge measurement results were re-solved by using parameters obtain from FEM analysis.

Úkol, který řešitelský kolektiv **katedry pružnosti a pevnosti fakulty strojní ČVUT v Praze** v minulém roce řešil, spočíval ve zjištění stavu napjatosti trubek chladiče v oblasti jejich svaru s nátrubkem obr. 1. Vzhledem k rozdílným rozměrům trubky a nátrubku dochází v blízkosti svaru



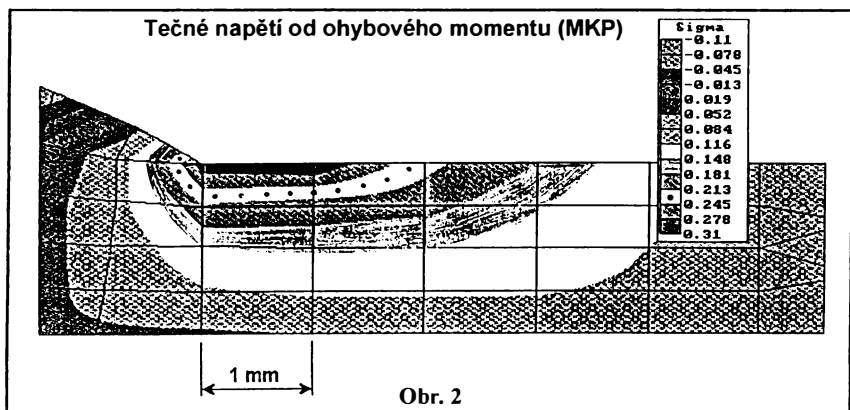
na trubce ke koncentraci napětí. V minulosti u původního chladiče docházelo v těchto místech ke vzniku trhlin v tečném směru, které způsobily ve dvou případech dokonce havárii celého zařízení. S ohledem na tečný směr trhliny lze při vnitřním provozním přetlaku 16,5 MPa usuzovat na značné přídavné osově namáhání trubek. Chladič je součástí štěpné jednotky určené k hydrogenučení krakování primárního olejového destilátu pod vysokým tlakem vodíku. Znalost skutečného stavu napjatosti trubek chladiče v kritických místech je nutnou podmínkou pro posouzení bezpečnosti celého chladiče.

Při montáži nového chladiče byla proto provedena komplexní analýza stavu napjatosti trubek chladiče, která zahrnovala jednak vliv vlastní montáže chladiče a dále vliv "najíždění" celého zařízení na provozní stav. Při najíždění dochází na vstupních trubkách ke změně povrchové teploty o cca 120°C, přičemž rozdíly v povrchových teplotách mohou dosahovat mezi jednotlivými trubkami několik desítek stupňů. Doba najíždění se pohybuje podle technologického harmonogramu mezi 100 až 140 hodinami (skutečné najíždění trvalo celkem 122 + 73 hodin).

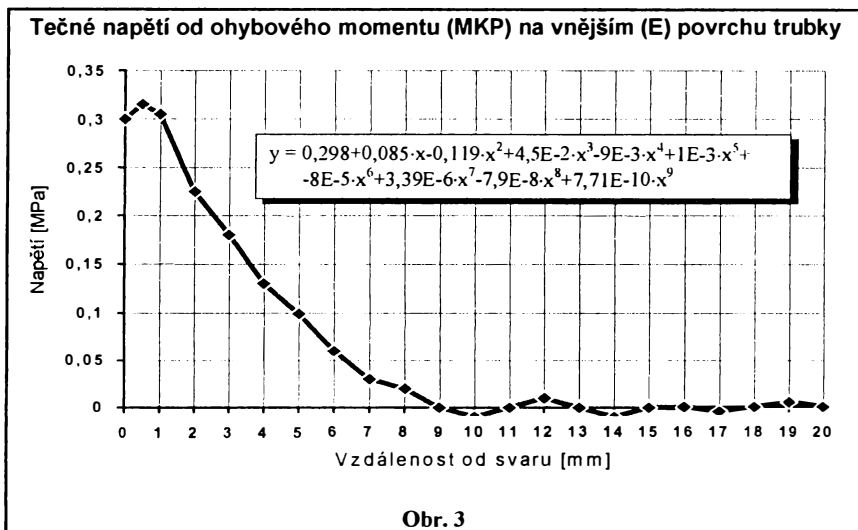
Z uvedeného vyplývá, že se jednalo o komplikovaný úkol se značnými nároky na stabilitu celého měřicího řetězce v čase a na dokonalou teplotní kompenzaci. Dominantní bylo experimentální stanovení přídavných osových napětí vyvolaných osovou silou a ohybovým momentem. Protože při najíždění dochází ve většině případů i ke značné změně v poloze stopy přídavného ohybového momentu, byla pochopitelně zjišťována i poloha této stopy ohybového momentu.

Jak už bylo výše uvedeno, dochází v blízkosti svaru ke koncentraci napětí, která jsou jiná od samotného vnitřního přetlaku, jiná od ohybového momentu či osově síly. Přímé experimentální stanovení stavu napjatosti v kritickém místě trubek je tedy prakticky nemožné. Proto byla zvolena metodika, která v tomto případě spojuje prostředky EAN a MKP a spočívá v následujícím postupu:

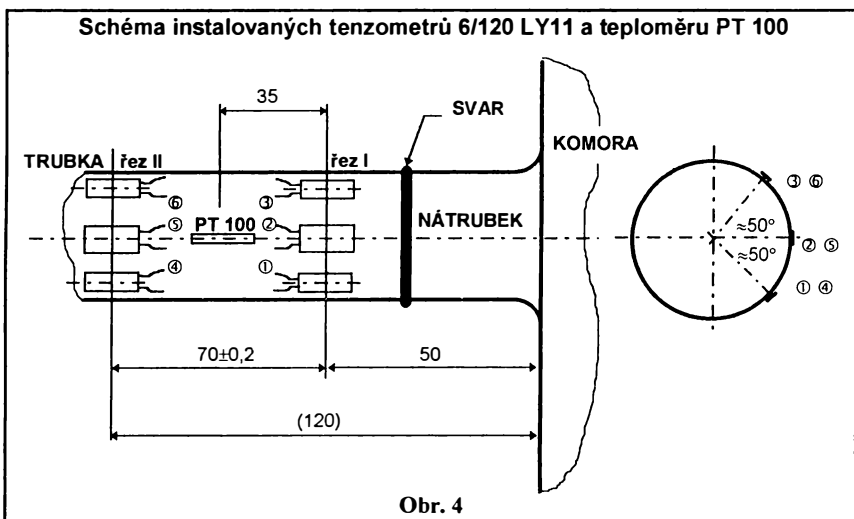
- 1) Byla provedena analýza napjatosti trubky v kritické oblasti u svaru metodou MKP. Analýza byla provedena pro zatížení samotným vnitřním přetlakem o velikosti 1 MPa, dále pro osovou sílu, která v dostatečné vzdálenosti od svaru ($x \geq 20$ mm) vyvolá osově napětí o velikosti 1 MPa a posléze pro ohybový moment, který na vnějším povrchu trubky vyvolá nominální ohybové napětí o velikost 1 MPa. Ukázka těchto analýz je na obr. 2 a sice pro tečná napětí od ohybového momentu.



- 2) Pro osově a tečně napětí na vnějším a vnitřním povrchu byla pro všechny uvedené složky namáhání provedena polynomiická regrese. Tak byly získány dílčí rovnice pro jednotlivé složky napětí v závislosti na vzdálenosti od svaru (souřadnice x) v přímé závislosti na naměřených nominálních napětích od osově síly, ohybového momentu a naměřeném tlaku. Ukázka je na obr. 3 pro tečné napětí na vnějším povrchu trubky od ohybového momentu.

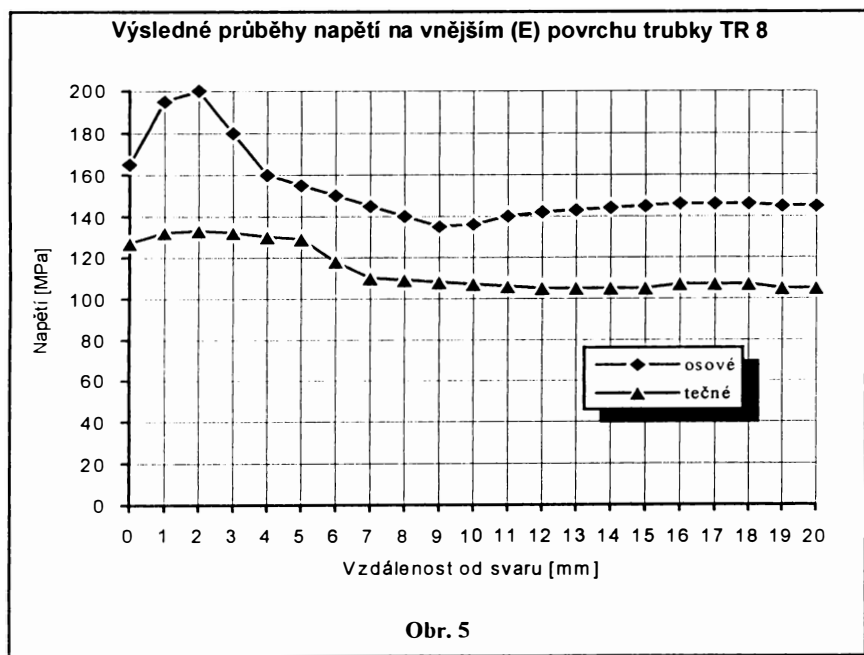


- 3) Na měřené trubky byly instalovány dvě trojice tenzometrů a platinový odporový snímač teploty podle obr. 4. Z polohy jednotlivých řezů je zřejmé, že bylo měřeno v oblasti bez koncentrace napětí.

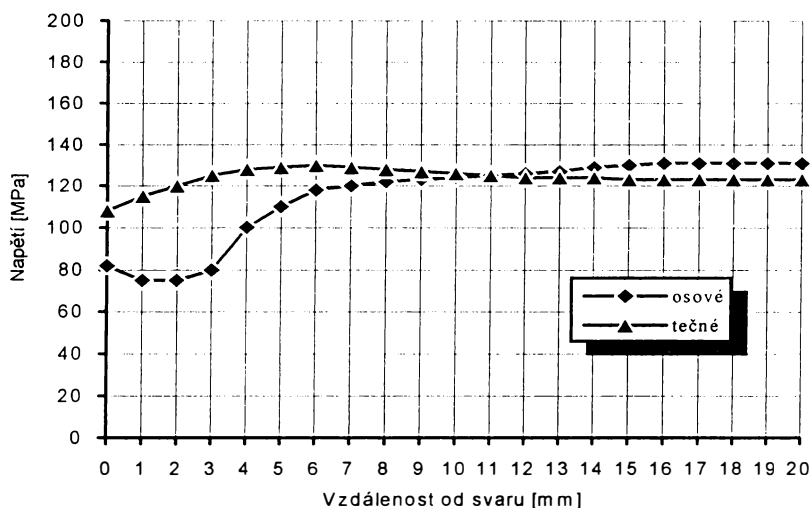


- 4) Metodikou, která byla vyvinuta na katedře a publikována na 26. konferenci EAN v roce 1988 [2], byly experimentálně zjištěny přídavné osově účinky od ohybového momentu a od osově síly, včetně polohy stopy ohybového momentu v obou řezech na trubce.
- 5) Existence dvou měřených řezů na trubce umožnila jednak stanovit rovněž gradient ohybového napětí a uplatnit ho v konečném výpočtu stavu napjatosti a dále sloužila ke kontrole neboť namáhání od osově síly a poloha roviny ohybového momentu musí být v obou řezech stejné.
- 6) Tečná napětí na vnitřním i vnějším povrchu byla získána výpočtově podle naměřeného tlaku. Při počítačovém zpracování naměřených hodnot byla nejprve provedena korekce na změnu teploty pro použité tenzometry 6/120 LY11 (HBM). Dále byl separován vliv tečného napětí (od vnitřního přetlaku), kde se rovněž uplatnil vliv teploty na změnu modulu pružnosti. Pro feriticko-austenickou ocel č. 1.4462 byla pro hodnoty udávané firmou Mannesmann proložením křivky 2. stupně získána závislost: $E = 2,02 \cdot 10^5 - 265,833 \cdot T + 0,653 \cdot T^2$ [MPa]. Při následujícím výpočtu osověho napětí od osově síly a od ohybového momentu se tento vztah rovněž uplatnil.
- 8) Konečné průběhy osověho napětí v kritické oblasti a to na vnějším i vnitřním povrchu byly získány superpozicí dílčích rovnic popsanych v bodu 2) po vynásobení příslušnou naměřenou složkou osověho napětí, eventuálně po vynásobení vnitřním přetlakem.
- 9) Obdobný postup byl použit i pro napětí tečná, kde byla pochopitelně dominantní složkou superponovaného napětí složka od vnitřního přetlaku.

Ukázka výsledných průběhů osověho a tečného napětí na vnějším (E) i vnitřním (I) povrchu trubky je na obr. 5 a obr 6. Jedná se o nejvíce namáhanou trubku č. 8, u které je na vnějším i vnitřním povrchu dominantní osově napětí.



Výsledné průběhy napětí na vnitřním (I) povrchu trubky TR 8



Obr. 6

Komplexní provedená analýza potvrdila očekávání, kdy vlivem nové konstrukce chladiče, oproti původnímu, došlo ke snížení jak nominálních, tak i špičkových hodnot všech složek sledovaných napětí, a to v celém průběhu najíždění systému.

LITERATURA:

- [1] MICHALEC J., VALENTA F., KULIŠ Z., KONVIČKOVÁ S., ŘEZNÍČEK J., ŠPANIEL M.: *Experimentální a teoretická analýza stavu napjatosti trubek chladiče PSP W 2001*, Výzkumná zpráva FS 211-94-16 ČVUT Praha, 1994
- [2] MICHALEC J.: *Aplikace experimentální metody pro stanovení vnějších účinků na rotačně symetrický prut*, 26. celostátní konference EAN 1988, str. 86-87
- [3] MICHALEC J., ŘEZNÍČEK J.: *Experimentální analýza rotačních součástí při omezené přístupnosti povrchu*, 31. celostátní konference EAN 1993, str. 211-214



Doc. ing. Jiří MICHALEC, CSc., ing. Jan ŘEZNÍČEK, CSc.

Katedra pružnosti a pevnosti, strojní fakulta,

České vysoké učení technické v Praze

Technická 4, 166 07 Praha 6 - Dejvice

tel.: (02) 2435 2509, 2435 2517, E-mail: reznicek@fsid.cvut.cz

Praha, duben 1995