

# **E**xperimentální **A**nalýza **N**apětí **2003**

## **STUDY OF RESIDUAL STRESS DISTRIBUTION ON THE SURFACE OF THICK-WALLED PIPES BY MEANS OF A PORTABLE X-RAY STRESS ANALYZER** **STANOVENÍ DISTRIBUCE ZBYTKOVÝCH NAPĚTÍ NA TLUSTOSTĚNNÝCH TRUBKÁCH POMOCÍ PŘENOSNÉHO RENTGENOVÉHO TENZOMETRU TRIM**

*Ivo Kraus, Nikolaj Ganev<sup>1</sup>*

*The X-ray diffraction method is a well-developed nondestructive method for residual stress analysis of crystalline materials. A number of innovative concepts of portable X-ray stress analyzers designed in last decades allowed to use this technique for measurements on specimens of arbitrary shape and size. The aim of the paper is to present the first experience of the authors with a new X-ray instrument used to measure the residual stress distribution on the surface of thick-walled steel pipes.*

### **Keywords**

Residual stresses distribution, X-ray diffraction, portable stress analyzer, thick-walled pipes.

Laboratorními difraktometry nebo klasicky uspořádanými metodami zpětného odrazu lze analyzovat napětí jen u vzorků, jejichž rozměry dovolují na těchto zařízeních potřebné uchycení i předepsanou justaci ke splnění geometrických podmínek difrakčního experimentu. Konstrukce rentgenové tenzometrické aparatury pro průmyslovou praxi musí však umožňovat měření na součástkách libovolného tvaru a rozměrů. V posledních desetiletích začala být v prototypch i komerčně vyráběna zařízení pro difrakční analýzu napěťových stavů přímo ve výrobních provozech nebo v terénu [1, 2].

Ilustrací malého přenosného zařízení originální koncepce může být tenzometr TRIM dodávaný firmou SPECTRON Engineering v Sankt Petěrburgu.

Základní částí tohoto přístroje je dvouanodová rentgenka, která umožňuje bez komplikovaných mechanismů splnit geometrické podmínky difrakční tenzometrické metody dvou expozic. Protože anody není třeba chladit vodou, dá se s přístrojem měřit přímo „in situ“. Souprava je složena ze zářiče se dvěma polohově citlivými detektory, zdroje vysokého napětí, ovládacího panelu a jednotky pro sběr dat a jejich elektronické zpracování počítačem.

Uspořádání detektorů umožňuje detektovat záření difraktované zároveň na rovinách (hkl) skloněných k povrchu vzorku pod úhlem  $\psi_2 = 50^\circ$  i na rovinách, které jsou s povrchem rovnoběžné ( $\psi_2 = 0^\circ$ ).

---

<sup>1</sup> Prof. RNDr. Ivo Kraus, DrSc., Doc. Ing. Nikolaj Ganev, CSc., Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská ČVUT v Praze, Trojanova 13, 120 00 Praha 2, tel.: +420-22435 8608, e-mail: kraus@troja.fjfi.cvut.cz

Pro napětí  $\sigma_\varphi$  ve směru definovaném průsečnicí povrchu vzorku s rovinou, v níž leží paprsky vystupující z obou anod rentgenky, platí vztah

$$\sigma_\varphi = -\frac{E}{1+\nu} \cot \theta_0 \frac{\theta_{\psi_2} - \theta_{\psi_1}}{\sin^2 \psi_2 - \sin^2 \psi_1},$$

kde E,  $\nu$  jsou Youngův modul elasticity a Poissonovo číslo,  $\theta_0$  – Braggův úhel zkoumaného materiálu v nenapjatém stavu,  $\theta_{\psi_1}$ ,  $\theta_{\psi_2}$  - hodnoty Braggova úhlu stanovené ve směrech  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ .

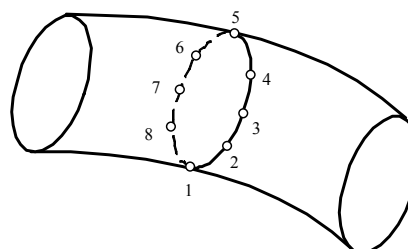
Charakteristika vzorků - dvou trubek z oceli ČSN 12022.1 o průměru 273 cm a tloušťce stěny 16 mm: trubka A (netvářená) byla normalizačně žhána při 920 °C po dobu 50 minut a pak ochlazena na vzduchu, trubka B ohnutá (poloměr ohybu R=1250 mm) za tepla s indukčním ohřevem na 920 – 980 °C a následným ochlazením na vzduchu.

Proměřované oblasti byly rozloženy rovnoměrně po obvodu trubky v její střední části (obr. 1). Na povrchu obou analyzovaných vzorků vznikala v důsledku tepelného zpracování oxidická vrstva. Aby neodstíňovala difraktované záření, musela být v okolí měřených míst elektrolyticky odstraněna.

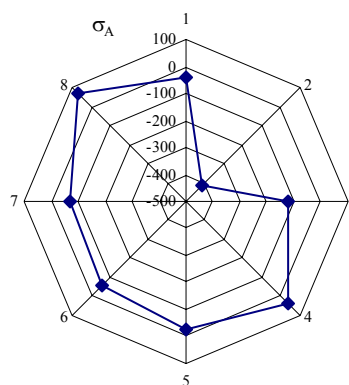
Výsledky měření jsou shrnuty v tab. 1.

Tab. 1 Hodnoty povrchových napětí stanovené ve směru osy trubky ( $\sigma_A$ ) a ve směru tečném ( $\sigma_T$ )

Vzorek	Oblast	$\sigma_A$ , MPa	$\sigma_T$ , MPa
A	1	-134	-83
	3	-128	73
	5	-94	-63
	7	-139	-105
B	1	-43	19
	2	-419	-204
	3	-124	-33
	4	35	-78
	5	-27	-241
	6	-59	-111
	7	-69	-64
	8	67	-108



Obr. 1 Rozložení měřených oblastí na trubce B (tvářené)



Obr. 2 Rozložení zbytkových napětí  $\sigma_A$  na obvodu vzorku B

## Literatura

- [1] KRAUS, I., GANEV, N.: Difrakční analýza mechanických napětí. Vydavatelství ČVUT, Praha 1995.
- [2] RUUD, C.O. et al.: Adv. X-ray Anal., Vol. 27(1983), pp. 273 - 283.

*Tato práce je dílčím výsledkem řešení projektu podporovaného GA ČR (grant č. 106/02/0612)*