

EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THERMAL STRESS FIELD DURING ANNEALING
OF WELD IN REACTOR PRESSURE VESSEL MODELEXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ TEPLITNÍ NAPJATOSTI PŘI ŽIHÁNÍ SVARU
MODELU REAKTOROVÉ NÁDOBY

O. Lébl

The paper presents an information on experimental procedure and its results dealing with the long term strain analysis of reactor pressure vessel model 1:1 and a transform of the results to stress state at vicinity of the circumferential weld. The specialty of realized strain-gage measurement was temperature range 30 °C to 470 °C and the way of drift compensation.

Ve Škodě koncern Plzeň, a.s. bylo provedeno měření teplo-
tní napjatosti vznikající při regeneračním žihání modelu
reaktorové nádoby vyrobené z oceli 15CH2MFA.

Měření bylo provedeno na vnějším povrchu modelu v oblasti
svaru v rozsahu teplot $36\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 470\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplotní napjatost
byla stanovena na základě změřených hodnot poměrných deformací
ε vysokoteplotních přivařovacích tenzometrů typ VPT-520 (IMAŠ
Moskva) a hodnot teplot T povrchu v měřených místech zjištěných
pomocí termočlánků. Tato měření byla provedena měřicí ústřednou
fy Peekel Instruments. B.V. Další měření byla prováděna tenzo-
metrickou aparaturou DMD-20A fy HBM. Instalace přivařovacích
tenzometrů byla provedena tak, aby bylo možné stanovit

- a) závislost obvodových σ_1 a osových σ_2 teplotních napětí na
osovém směru (souřadnice z) nádoby v oblasti svaru,
- b) symetrii vyhřívání, pro což bylo instalováno několik 45° rů-

žic a měření poměrných deformací ϵ bylo provedeno ve dvou osových řezech A, B odkloněných o 90° .

Ohřev a ochlazování modelu bylo provedeno s rychlostí změny teploty přibližně $1^\circ\text{C}/\text{min}$. Měření ϵ byla prováděna v 15-ti minutových intervalech, tištění výsledků po částečné úpravě měřených dat ústřednou v hodinových úsecích a časový vývoj stanovené teplotní napjatosti byl určován v tříhodinovém cyklu. Poměrné deformace $\epsilon(\sigma)$ úměrné teplotnímu napětí byly určeny ze vztahu

$$\epsilon(\sigma) = \epsilon - \epsilon(T) - D(T, \tau) \quad [10^{-6}] \quad (1)$$

kde

ϵ ... změřené poměrné deformace,

$\epsilon(T)$... fiktivní poměrné deformace,

$D(T, \tau)$... hodnota celkového driftu přivařených tenzometrů, příslušná době τ (hod) a teplotě T ($^\circ\text{C}$).

Pro stanovení závislosti $\epsilon(T)$ byla na několika vzorcích materiálu změřena teplotní charakteristika přivařených tenzometrů, která byla vyjádřena ve tvaru

$$\epsilon(T) = C_1(T-T_0) + C_2(T^2-T_0^2) + C_3(T^3-T_0^3) \quad [10^{-6}] \quad (2)$$

Pro použité tenzometry a materiál byly metodou nejmenších čtverců stanoveny konstanty závislosti (2) ($C_1=10,934$, $C_2=-0,02323$, $C_3=0,00001295$) při maximálních odchylkách (zjištěných ze souboru přivařených tenzometrů) přibližně $\pm 8\%$. Časová a teplotní závislost posuvu hodnoty odporu přivařených tenzometrů byla vyjádřena částečně a sice jako funkce teploty T , $D(T)$, pro časový úsek $\tau = 1$ hod. Celkový vliv působení vysoké teploty na přivařený tenzometr byl uvažován úměrně časové prodlevě vyjádřené součtem násobků hodin n .

$$D(T, \tau) = \sum_n 10^{a_0 + a_1(T_n - 400) + a_2(T_n - 400)^2 + a_3(T_n - 400)^3} \quad [10^{-6}] \quad (3)$$

Závislost (3) je platná v rozsahu teplot $400^\circ\text{C} < T < 470^\circ\text{C}$ ($a_0=0,845$, $a_1=0,005936$, $a_3=-0,00006043$).

Pro nižší hodnoty teplot platí přibližně lineární vztah

$$D(T, \tau) = \sum_n [b_0 + b_1(T_n - 200)] \quad [10^{-6}] \quad (4)$$

kde $b_0 = 0,000005$, $b_1 = 0,000001$.

Teplotní napjatost byla po stanovení hodnot $\epsilon(\sigma)$ ve všech měřených místech a směrech stanovena pro skutečné hodnoty modulu pružnosti $E(T)$ z rozšířeného Hookova zákona

$$\sigma_{1,2} = \frac{E(T)}{1-\mu^2} (\epsilon_{1,2} + \mu\epsilon_{2,1}), \quad \mu=0,3 \quad [\text{MPa}] \quad (5)$$

a redukované napětí ze vztahu

$$\sigma_{\text{RED}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2} \quad [\text{MPa}], \quad (6)$$

který jsme byli oprávněni použít po vyhodnocení úhlu natočení α hlavních napětí vyplývajících z měření jedné 45° růžice. Kromě stanovené závislosti (2) byla pozorována určitá podmíněnost $\epsilon(T)$ na parametru předpětí přivařovacích tenzometrů $\epsilon(T, \sigma)$. Respektování této podmíněnosti vedlo k úpravě vyhodnocených hodnot napětí určených rovnicemi (5) a stanovení vztahu podle kterého pro teplotní napjatost platí přibližně výraz

$$\sigma^* = \sigma (1,043 + 0,000315 \cdot T) \quad [\text{MPa}]. \quad (7)$$

Celková chyba měření a korekcí při vyhodnocování je v rozpětí $\pm 20 \%$. Tato hodnota vyplývá ze dvou skutečností

- teplotní "napětí" vyhodnocené na konci ochlazování, je po vyrovnání teplot odchýleno přibližně o výše uvedenou hodnotu,
- měření zbytkové napjatosti provedené Martharovou metodou před a po regeneračním žihání se prakticky neliší.

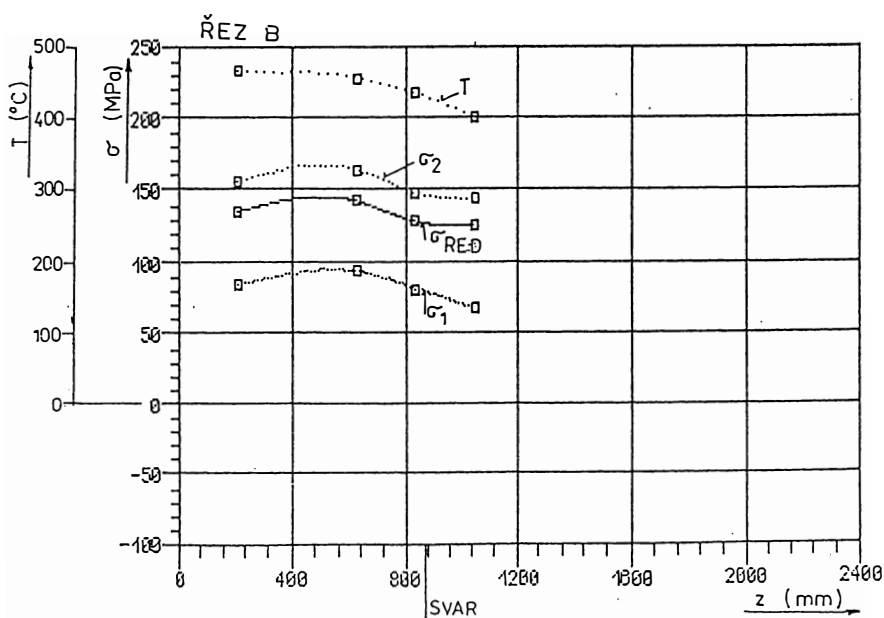
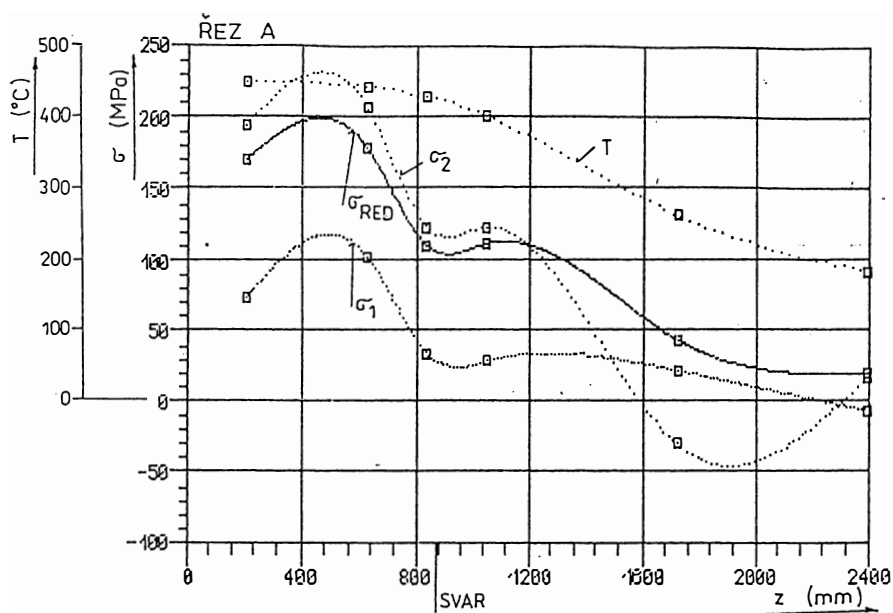
Výsledky měření teplotní napjatosti a teploty na modelu nádoby při druhém regeneračním žihání v řezu A a B jsou uvedeny na obr.1.

Otakar Lébl, Ing.

Státní výzkumný ústav pro stavbu strojů

190 11 Praha 9 - Běchovice

tel. (02) 743051 fax (02) 742076



Obr. 1 Napětí a teploty při druhém ohřevu (26.11., 10:03)