

## DIFRAKČNÍ TECHNIKA TENZOMETRICKÉ KONTROLY SVARŮ

Nikolaj Ganov, Ivo Kraus, FJFI ČVUT v Praze

Příspěvek pojednává o aplikaci rentgenové difrakční metody k tenzometrické topografické analýze okolí svarů. Byla stanovena napětí vyvolaná tavným svařováním trubek z feritické oceli. Je ukázáno, že šířka tepelně ovlivněné zóny materiálu má větší šířku při svaření na vzduchu než v ochranné argonové atmosféře.

### Úvod

Při tavném svařování dochází vlivem lokálního ohřevu na vysoké teploty a smršťovacího procesu při ochlazení ke vzniku zbytkových napětí nazývaných svařovací. Tato napětí, existující ve svaru i základním materiálu, mají velký význam pro pevnostní vlastnosti svařených součástí. Cílevědomě jsou zkoumána již od počátku třicátých let, zpočátku mechanickými způsoby měření deformací vyvolaných destrukcí svarových spojů, později i rentgenograficky bez zásahu do celistvosti zkoumaného objektu [1].

Analýza zbytkové napjatosti v okolí svaru je příkladem diagnostiky nehomogenních napěťových polí, při níž má prioritní a prakticky nezastupitelnou úlohu difrakce rentgenového záření.

### Popis vzorků a použitá tenzometrická metoda

Zkoumané vzorky - trubky z oceli ČSN 15 128 měly průměr 70 mm, tloušťku stěny 6 mm a délku buď 120 mm nebo (jako svařence)  $\approx 250$  mm. K určení složek povrchového napětí  $\sigma_L$  ve směru osy trubek a  $\sigma_T$  ve směru kolmém k ose byla zvolena rentgenografická tenzometrická metoda jedné expozice bez referenční látky [2]. Primární svazek použitého rtg. záření  $\text{CrK}\alpha$ , vycloněný válcovým kolimátorem o průměru 1 mm, dopadal na povrch trubek pod úhlem  $45^\circ$ .

Kromě excentricity  $\Delta^{211}$  [3] difrakční linie  $\{211\}$  byly numerickým vyhodnocováním hustoty zčernání difrakčních diagramů [4] určovány i šířky linií  $W_L$ ,  $W_T$ , které

jsou funkcí mikroskopických napětí v krystalcích  $\alpha$ -Fe ozářeného objemu.

Při rentgenografickém výzkumu materiálů tvořených krystalky (koherentními oblastmi) o lineárních rozměrech větších než několik  $\mu\text{m}$ , dostáváme na rentgenogramech místo spojitých difrakčních linií diskrétní skvrny. K měření polohy nebo šířky takových "linií" musí být nespojitý průběh difraktované intenzity vhodným způsobem "vyhlazen". Aby se zvýšil počet krystalků, které svou orientací splňují Braggovu reflexní podmínku, byl navržen a konstruován speciální přípravek, umožňující plynule nastavitelný translační pohyb vzorků (trubek) až do hodnoty  $\pm 5$  mm s frekvencí 4 kmitů za minutu [5].

Při tenzometrické analýze hrubozrnných oblastí v okolí svarů zkoumaných trubek se tento kmitavý pohyb vzorků pro vyhlazení difrakčních linií  $\{211\}$  velmi dobře osvědčil.

Napětí  $\sigma_L$ ,  $\sigma_T$  a šířky  $W_L$ ,  $W_T$  byly určovány na třech typech vzorků:

- trubky se soustruženým povrchem, žíhané 30 minut při teplotě 680 - 720°C,
- svařenec z homogenizačně žíhaných trubek 1,2 získaný svařením na vzduchu,
- svařenec z homogenizačně žíhaných trubek 3,4 získaný svařením v ochranné argonové atmosféře.

#### Výsledky měření a jejich diskuse

a) Studium homogenity napětí  $\sigma_L$ ,  $\sigma_T$  a šířek  $W_L$ ,  $W_T$  difrakčních linií na žíhaných ocelových trubkách pro výrobu svařenců.

Měření měla umožnit posouzení homogenity makroskopických napětí vzhledem k velikosti plochy povrchu, která je při aplikaci zvolené tenzometrické metody ozářená svazkem rentgenových paprsků. Na každé se čtyř trubek označených čísly 1,2,3,4 byly ve dvou náhodně zvolených oblastech povrchu stanoveny hodnoty veličin  $\sigma_L$ ,  $\sigma_T$ ,  $W_L$ ,  $W_T$ .

Zjištěná napětí mají ve všech případech tlakový charakter, přičemž  $|\sigma_L| > |\sigma_T|$ ; chyba měření  $|\Delta\sigma_L| = |\Delta\sigma_T| = 40 \text{ MPa}$ ,  $\Delta W = 0,06^\circ (\Theta)$ . Lze konstatovat, že použitým režimem žíhání se makroskopická i mikroskopická napětí na povrchu trubek uspokojivě homogenizovala.

b) Tenzometrická diagnostika svařenců

Z trubek č.1 a 2, resp. 3 a 4 byly zhotoveny svařence označené dále čísly 12 a 34. U vzorku 12, svařeného bez ochranné atmosféry (elektrodou na vzduchu), měl svar šířku  $\approx 15 \text{ mm}$ , u vzorku 34, svařeného pod ochranou Ar, vznikla svarová housenka o šířce cca 12 mm. Hodnoty  $\sigma_L$ ,  $\sigma_T$ ,  $W_L$ ,  $W_T$ , stanovené v různých vzdálenostech  $x$  od okraje svaru ( $x = 1, 2, 3, \dots, 19, 20, 22, 24, \dots, 30, 35, 40, 45 \text{ mm}$ ), jsou znázorněny včetně chyby měření na obr. 1 - 4.

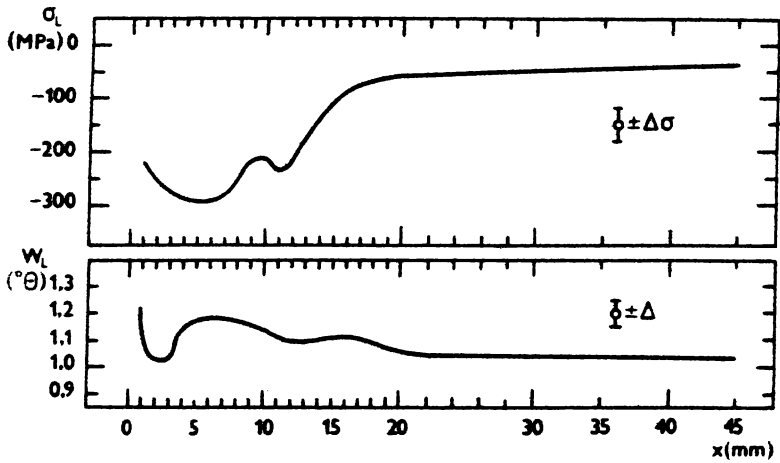
Z grafického znázornění naměřených napětí a šířek linií je patrné, že svařování na vzduchu a v ochranné argonové atmosféře vede ke kvalitativně shodným průběhům  $\sigma_L(x)$ ,  $\sigma_T(x)$ ,  $W_L(x)$ ,  $W_T(x)$ . Od určité vzdálenosti  $x_0$  zůstávají tyto funkce vzhledem k  $x$  konstantní. Hodnoty  $x_0$ , odečtené z obr.1 - 4, jsou v tabulce 1.

Tabulka 1

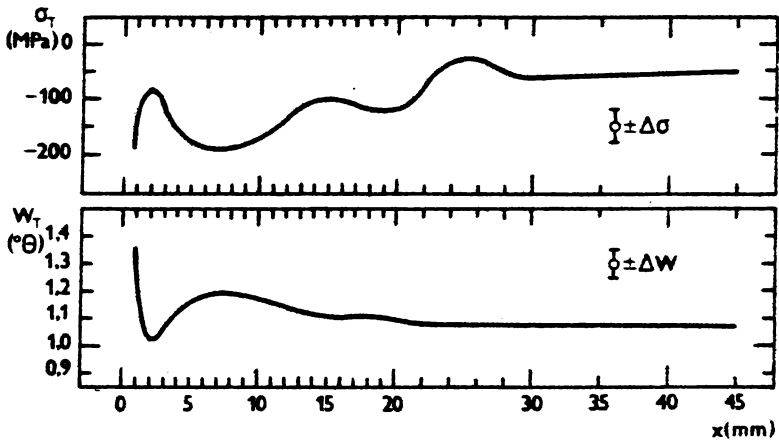
Hodnoty  $x_0$  u závislostí  $\sigma_L(x)$ ,  $\sigma_T(x)$ ,  $W_L(x)$ ,  $W_T(x)$  stanovených na svařencích 12 a 34

Závislost	$\sigma_L(x)$	$\sigma_T(x)$	$W_L(x)$	$W_T(x)$
Vzorek	$x_0, \text{ mm}$			
12	20	30	20	20
34	15	25	12	12

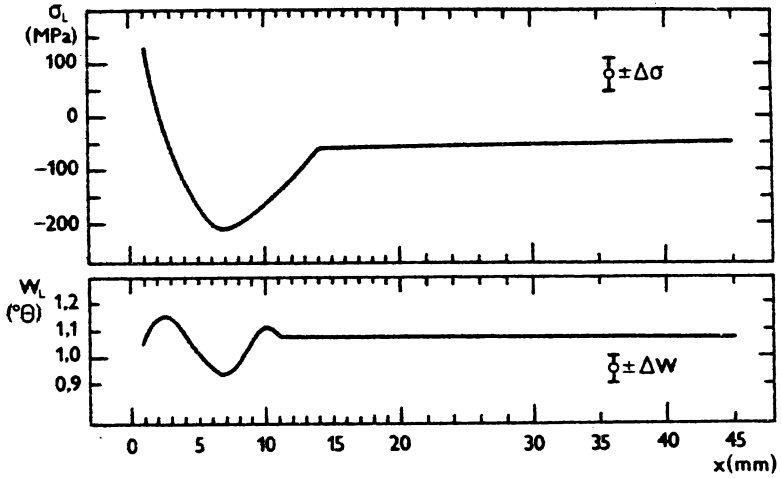
Vzdálenost  $x_0$  od okraje svarového švu je pološířkou zóny, jejíž struktura byla ovlivněna svařováním. Podle tabulky 1 má tato charakteristika větší hodnotu



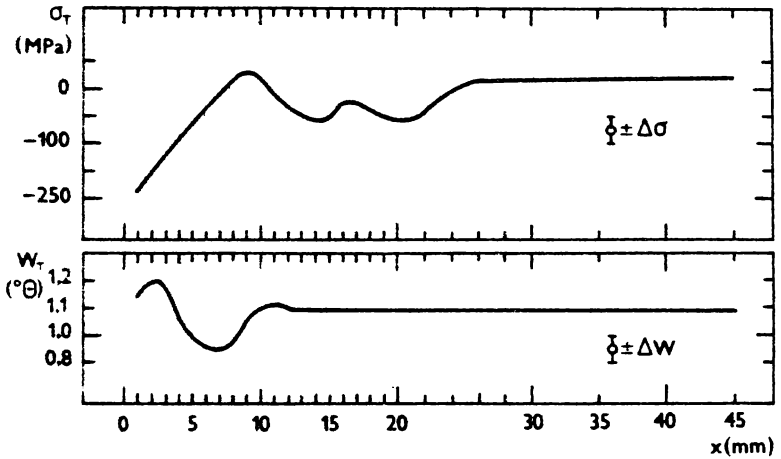
Obr.1 Závislosti  $\sigma_L(x)$ ,  $W_L(x)$  naměřené na svařenci č.12



Obr.2 Závislosti  $\sigma_T(x)$ ,  $W_T(x)$  naměřené na svařenci č.12



Obr.3 Závislosti  $\sigma_L(x)$ ,  $W_L(x)$  naměřené na svařenci č.34



Obr.4 Závislosti  $\sigma_T(x)$ ,  $W_T(x)$  naměřené na svařenci č.34

při svařování na vzduchu než v ochranné argonové atmosféře. Dále je zřejmé: při  $x > x_0$  nabývají napětí  $\sigma_I$ ,  $\sigma_T$  hodnot, které byly na vzorcích 1,2 nebo 3,4 naměřeny před jejich svařením ve vzorky 12 a 34.

Z grafů na obr.1 - 3 rovněž vyplývá, že v blízkosti svarových švů ( $x \rightarrow 0$ ) velikost tlakových napětí  $\sigma_T$  vzrůstá. I když určení napětí na rozhraní "svar - základní materiál" nebylo technicky možné, má průběh  $\sigma_I(x)$  zřetelnou tendenci přejít pro  $x = 0$  do oboru  $\sigma > 0$  nejen u vzorku 34, ale i u vzorku 12. Tato tahová napětí mohou být příčinou vzniku trhlinek kolmých k podélné ose svařenců.

#### Literatura

- [1] Skulari, P.-Zavadil, J.: Vojenské technické správy č.6, 1936, 220
- [2] Osswald, E.: Z.Metallkde 35, 1943, 19
- [3] Kraus, I.-Trofimov, V.V.: Rentgenová tenzometrie, Academia, Praha 1988
- [4] Ganev, N.-Kraus, I.: Čs.čas.fyz. A 36, 1986, 270
- [5] Ganev, N.-Kraus, I.: Čs.čas.fyz. A 38, 1988, 287