

Ultrazvuková technika TOFD pri určení hĺbkových rozmerov chýb

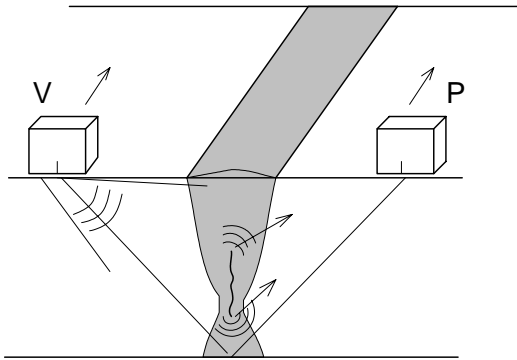
Ing. Miloš Kováčik, Ing. Pavol Kučík – Slovcert s.r.o., Bratislava, Slovensko

Princípy metodiky TOFD (Time of flight diffraction technique) • Výpočet rozmeru a hĺbky chyby • Príklady a interpretácia meraní TOFD na zvarových spojoch • Vhodnosť a výhody použitia metodiky TOFD •

Už v počiatkoch ultrazvukového skúšania sa vyvíjalo značné úsilie na hľadanie takej techniky skúšania, ktorá by poskytovala názorný obraz nálezov v skúšanej časti a vysokú mieru reprodukovateľnosti. Vzorom bola do značnej miery rádiografia a očakávalo sa, že ultrazvukom je v zásade možné získať obraz skutočných chýb materiálu, pokiaľ sú dosť veľké. Z fyzikálneho hľadiska išlo vlastne o zlepšenie rozlišovacej schopnosti. Tento cieľ sa podarilo do značnej miery splniť ultrazvukovou tomografiou. Principiálne však nemožno očakávať kvalitu zobrazenia porovnateľnú s rádiografiou. V porovnaní s rádiografiou je rozlišova

kvality akustickej väzby. TOFD preto dosahuje lepšiu reprodukovateľnosť skúšok ako ostatné ultrazvukové techniky.

Základné usporiadanie sond pri metóde TOFD je znázornené na Obr.1

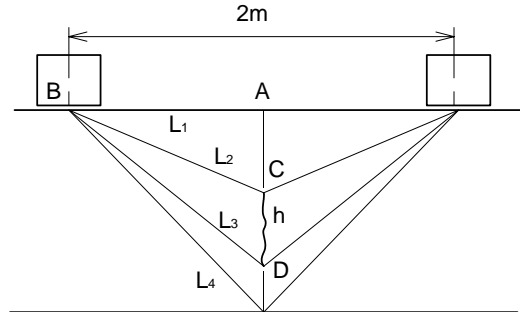


Obr.2 Princíp metódy TOFD

Jedna zo sond pracuje ako vysielač, druhá ako prijímač. Do materiálu sa vysiela pozdĺžna vlna. Sondy majú pomerne malý menič, aby sa dosiahol široko rozvretý zväzok zasahujúci veľkú časť skúšaného prierezu zvaru. Frekvencia sa volí 5 - 10 MHz, impulz krátky - silne zatlmený. Pri skúšaní sa sondy pohybujú pozdĺž zvaru pričom sa A - scany nepretržite prenášajú do počítača, kde príslušný program vytvára z nasnímaných A - scanov a polohy sond obdoba B – zobrazenia/ tzv. D-scan/.

Na vytvorení obrazu pri skenovaní zvaru sa podieľajú nasledovné typy vln Obr. 2:

- 1.pozdĺžna vlna generovaná vysielačou sondou, ktorej časť sa pri dopade na hrot necelistvosti transformuje na difrakčnú guľovú vlnu.
- 2.laterálna vlna šíriaca sa v smere najkratšej spojnice vysielačej a prijímacej sondy.
- 3.pozdĺžna vlna odrazená pod uhlom od protiľahlého povrchu.
- 4.priečne vlny vzniknuté transformáciou dopadajúcej pozdĺžnej vlny.



Obr.3 Dráhy pre jednotlivé druhy ultrazvukových vln pri TOFD

Výpočet rozmeru a hĺbky chyby je nasledovný:

Predpokladáme, že chyba je orientovaný kolmo na skúšobný povrch a leží uprostred medzi prijímačom a vysielačom. Potom možno na základe Pytagorovej vety vypočítať jeho hĺbkový rozmer „h“.

Ako prvá príde do prijímača laterálna vlna. Pre dobu jej príchodu platí:

$$t_{L1} = \frac{2m}{c},$$

kde $2m$ je vzájomná vzdialenosť sond na povrchu a c je rýchlosť šírenia pozdĺžnej vlny

Druhá v poradí príde vlna emitovaná horným okrajom chyby:

$$t_{L2} = \frac{2 \cdot BC}{c} = \frac{2 \cdot \sqrt{BA^2 + AC^2}}{c} = \frac{\sqrt{(2m)^2 + 4 \cdot d^2}}{c}$$

kde $d = AC$ je hĺbka horného okraja chyby

Potom príde vlna emitovaná spodným okrajom chyby:

$$t_{L3} = \frac{2 \cdot BD}{c} = \frac{2 \cdot \sqrt{BA^2 + AD^2}}{c} = \frac{\sqrt{(2m)^2 + 4 \cdot (d+h)^2}}{c}$$

Ako posledná príde vlna odrazená od protiľahlého povrchu:

$$t_{L4} = \frac{\sqrt{(2m)^2 + 4 \cdot w^2}}{c}$$

kde w je hrúbka skúšaného materiálu

Z uvedených rovníc možno pri známych časoch t_{L1} až t_{L4} vypočítať hĺbku d :

$$d = \sqrt{\left(\frac{c}{2}\right)^2 \cdot (t - 2t_0)^2 - m^2}$$

kde pre t_0 platí:

$$2t_0 = t_{L4} - 2 \frac{\sqrt{(2m)^2 + w^2}}{c}$$

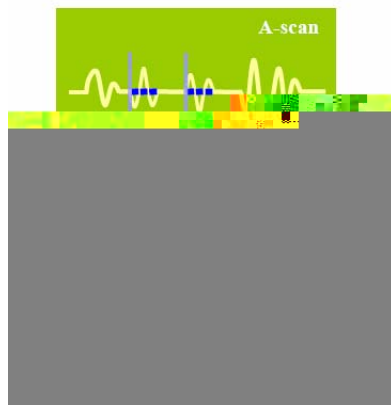
alebo

$$2t_0 = t_{L1} - \frac{2m}{c}$$

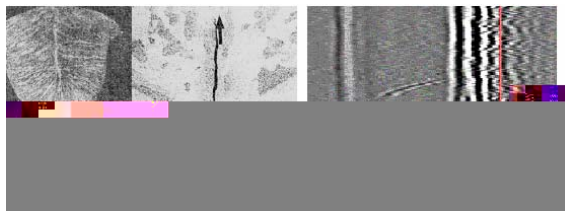
aj hĺbkový rozmer h chyby:

$$h = d_2/AD/ - d_1/AC/$$

Príklad zobrazenia chýb pri metóde TOFD je na Obr.4 a Obr.5.



Obr.4 Zobrazenie TOFD - rozloženie jednotlivých ultrazvukových vln pri meraní.

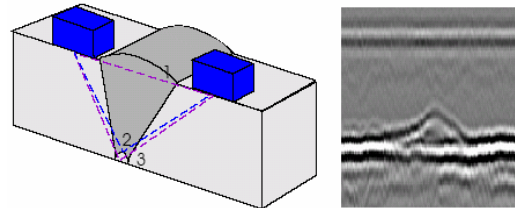


Obr. 5 Metalografický výbrus, detail a porovnanie záznamu TOFD na vnútornej trhline vo zvaru.

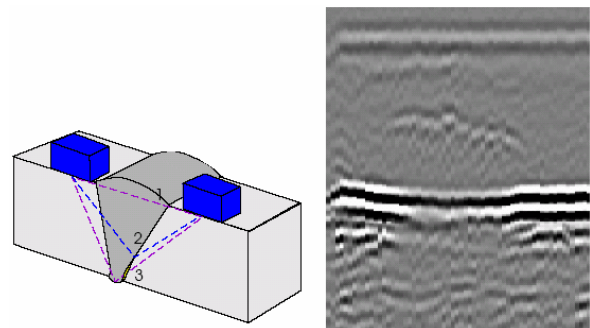
TOFD je bez problematické pri skúšaní feritických materiálov. U austenitických materiálov nie sú výsledky tak jednoznačné. Liata oceľ je pre TOFD neprezvučiteľná aj keď sa použijú sondy generujúce krátky silný impulz (tzv. shock - waves).

Príklady a interpretácia meraní

Z hľadiska interpretácie signálov sú problematické oblasti tesne pri skúšobnom alebo protiľahlom povrchu, kde sa ťažko odlišuje signál chyby od laterálnej vlny resp. vlny odrazenej od protiľahlého povrchu. Pokiaľ je ale chyba výrazná jej interpretácia je bezproblémová.

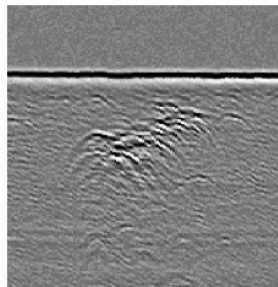
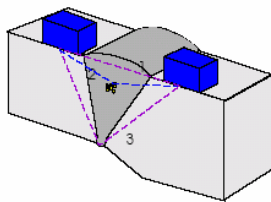


Obr.6 Zobrazenie chyby neprevareného koreňa pri skúšaní tupého zvaru technikou TOFD.



Obr.7 Zobrazenie chyby studeného spoja v oblasti koreňa pri skúšaní tupého zvaru technikou TOFD.

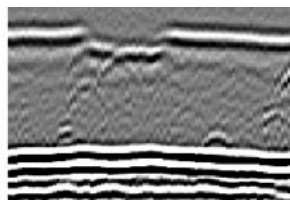
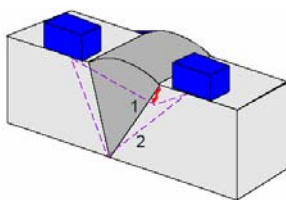
Pri objemových chybách typu napr. pórov a pod. sa prejavujú signály chýb v záznamoch TOFD ako malé paraboly medzi laterálnou vlnou a odrazom od protiľahlej steny čím je interpretácia chýb spoľahlivá.



Obr.8 Zobrazenie chýb typu pórov pri skúšaní tupého zvaru technikou TOFD.



Obr.12 Detail ručného skenera pre kontrolu zvaru metódou TOFD



Obr.9 Zobrazenie chyby studeného spoja v blízkosti povrchu pri skúšaní tupého zvaru technikou TOFD.

Vhodnosť použitia metodiky TOFD.

V priloženej tabuľke je porovnanie citlivosti ultrazvukovej metodiky TOFD oproti prežarovacej metódy pri kontrolách zvarových spojov a niektorých typoch chýb.

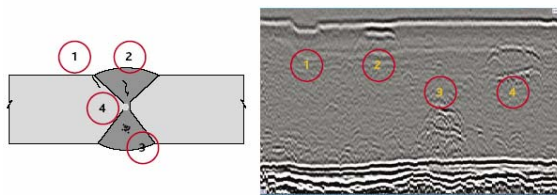
	Typ chyby	UT TOFD	Rádiografia
1	Povrchová/ podpovrchová trhlina	Dĺžková a j hĺbková rozlíšiteľnosť	Dĺžková rozlíšiteľnosť
2	Šikmé trhliny v centrálnej časti	Dĺžková a j hĺbková rozlíšiteľnosť	Nedetekovateľné ak nie sú kolmo k povrchu
3	Pórovitosť	Dĺžková rozlíšiteľnosť	Dĺžková rozlíšiteľnosť
4	Nevyplnený koreň	Dĺžková a j hĺbková rozlíšiteľnosť	Dĺžková rozlíšiteľnosť



Obr.10 Prenosný prístroj Omniscan s ručným skenerom pre kontrolu zvaru metódou TOFD

Porovnávacia tabuľka výhod metodík skúšania UT TOFD a prežarovania na rtg filmy:

	UT TOFD	Rádiografia
Ochranné opatrenia	Nie	Áno
Inšpekčný čas	Krátky	Dlhý
Výsledky v reálnom čase	Áno	Nie
Spotreba materiálu	Nízka/ sondy	Vysoká /filmy
Energetické nároky	Nízke/batériová prevádzka	Nevyhnutné pripojenie na zdroj 230V
Archivácia údajov	Digitálna	Fyzická



Obr.11 Porovnanie jednotlivých typov chýb v zobrazení TOFD

Záver

Použitie TOFD je bezproblémové pri skúšaní feritických materiálov. U austenitických materiálov nie sú výsledky tak jednoznačné. Liata oceľ je pre TOFD častokrát nepreznvučiteľná aj keď sa použijú

sondy generujúce krátky silný impulz (tzv. shock - waves).

Z hľadiska interpretácie signálov sú problematické oblasti tesne pri skúšobnom alebo protiľahlom povrchu, kde sa ťažko odlišuje signál defektu od laterálnej vlny resp. vlny odrazenej od protiľahlého povrchu.

V súčasnosti je technika TOFD stále predmetom diskusií a po počiatkových úspechoch, ktoré niekedy viedli k snahe nahradiť touto technikou klasickú rádiografiu sa presadzuje konzervatívnejší názor, podľa ktorého je hlavný význam TOFD v možnosti určenia hĺbkového rozmeru chýb, kým rádiografický obraz poskytuje presnejšie informácie o dĺžke a plošnom rozsahu chýb.

Literatúra

1. ASME VIII Code Case 2235 (2000 Edition)
2. ASME Section V, Article 4
3. S 7706 Guide to calibration and setting-up of the ultrasonic time-of-flight diffraction (TOFD) technique for detection, location, and sizing of flaws. British Standards Institute, 1993.
4. EN583-6 Nondestructive testing-ultrasonic examination -Part 6: Time-of-flight diffraction technique as a method for defect detection and sizing, 1995
5. Moles M.: Application of Time of flight Diffraction for Weld Inspection, R/D Tech interný materiál, 2003
6. Charlesworth, J.P. a Temple, J.A.G.: Ultrasonic time of flight diffraction, výskumná štúdia, 1989