

# Skúšanie heterogénnych a austenitických zvarov technikou Phased Array a technikou TOFD

Ing. Miloš Kováčik, Ing. Rastislav Hyáľa SlovCert s. r. o. Bratislava, Jan Kolář ČEZ JE Temelín

## Úvod

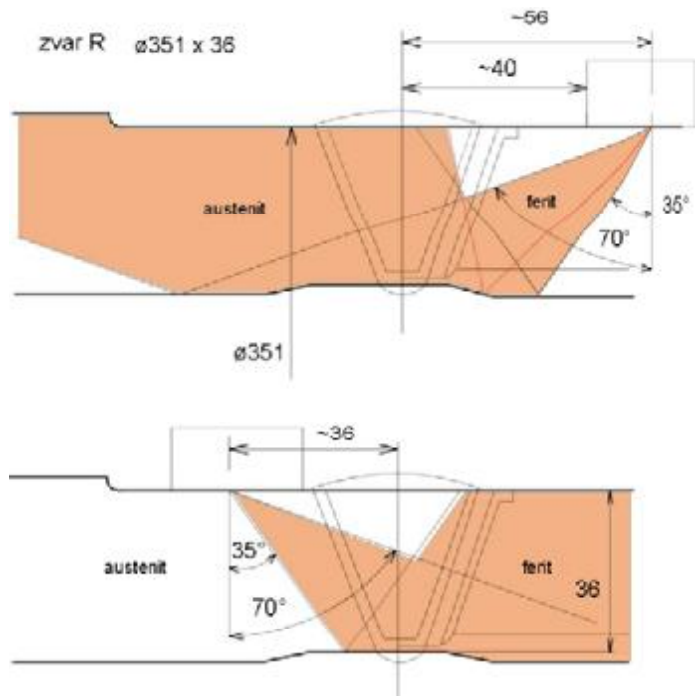
V prevádzkach jadrovej energetiky a ťažkých chemických prevádzkach sa pomerne často stretávame s problémom skúšania heterogénnych zvarov spájajúcich feritické a austenitické časti a tiež s problémom skúšania austenitických zvarových spojov. Vzhľadom na fakt, že tieto zvary sa štandardnými ultrazvukovými technikami skúšajú veľmi ťažko, je opodstatnené preveriť viaceré techniky ultrazvukového skúšania a na základe výsledkov takýchto testov vybrať najvhodnejšiu z nich pre skúšanie v reálnych prevádzkových podmienkach. Na tento účel sa používajú tzv. testovacie zvary, ktoré obsahujú umelé chyby, ale aj implantované prirodzené chyby, ktoré by sa mohli v prevádzke skutočných zvarov vyskytnúť. V našom, nižšie popísanom prípade, boli skúšané testovacie zvary simulujúce zvary potrubia potrubia Ø351/36 mm, pričom bola využitá technika phased array a technika TOFD, s využitím prístroja OmniScan MX firmy R/D tech.

## Skúšanie zvarov technikou phased array

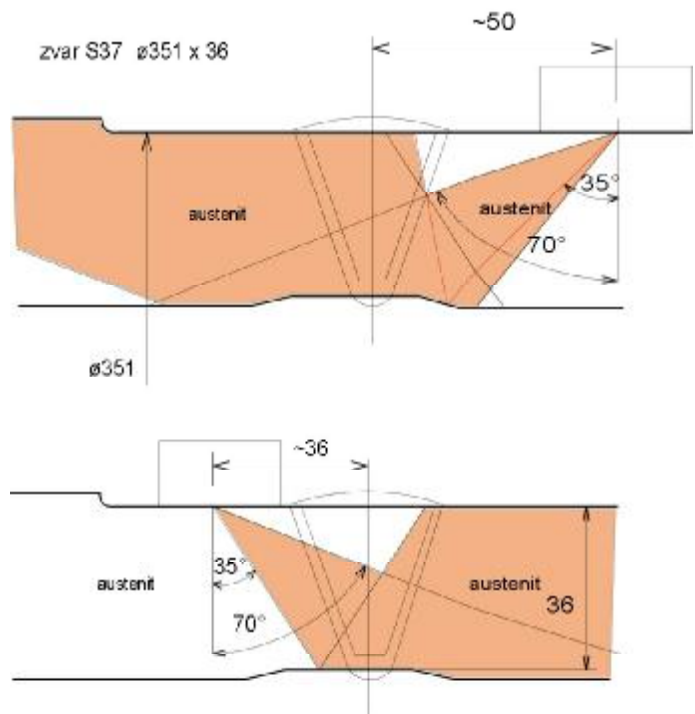
Vzhľadom na akustické vlastnosti prezvučovaného materiálu, najmä jeho útlm, boli zvary prezvučované sondou phased array frekvencie 2,25 MHz s uhlovou predsádkou. Sonda a prístroj OmniScan MX boli konfigurované nasledovne:

- počet súčasne aktívnych meničov sondy formujúcich ultrazvukový zväzok: 16
- typ scanu: sektorový, priečnou vlnou
- rozsah vychyľovania ultrazvukového zväzku v sektore: +35° a -70°
- krok vychyľovania ultrazvukového zväzku: 1°
- zosilnenie: 29 - 33 dB (nastavené na jednej z umelých chýb)

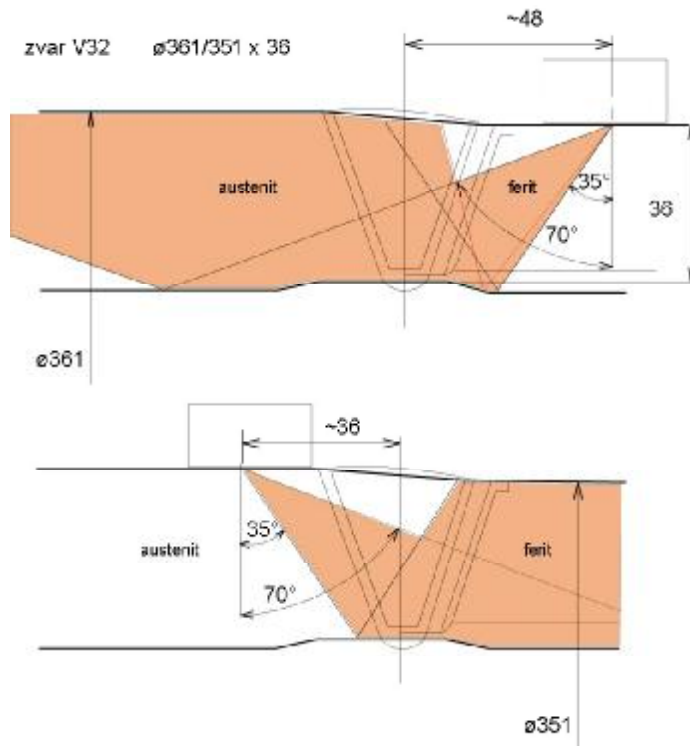
Pri skúšaní zo strany menšej hrúbky (M) bola sonda vedená pozdĺž zvaru v takej vzdialenosti, aby bol koreň zvaru prezvučovaný uhlom približne 60°. Z druhej strany (A) musela byť vzhľadom na osadenie vonkajšieho povrchu a rozmery sondy s pripojeným enkodérom použitá menšia vzdialenosť sondy od zvaru. Pozícia sondy pri skúšaní a prezvučované oblasti zvarov sú vyznačené na Obr.1 - Obr. 3.



Obr.1 Spôsob prezvučovania zvaru R



Obr.2 Prezvučovanie zvaru S37

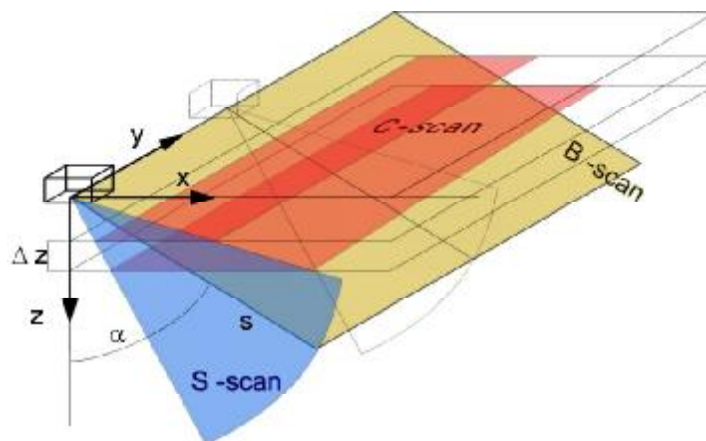


Obr.3 Prezvučovanie zvaru V32

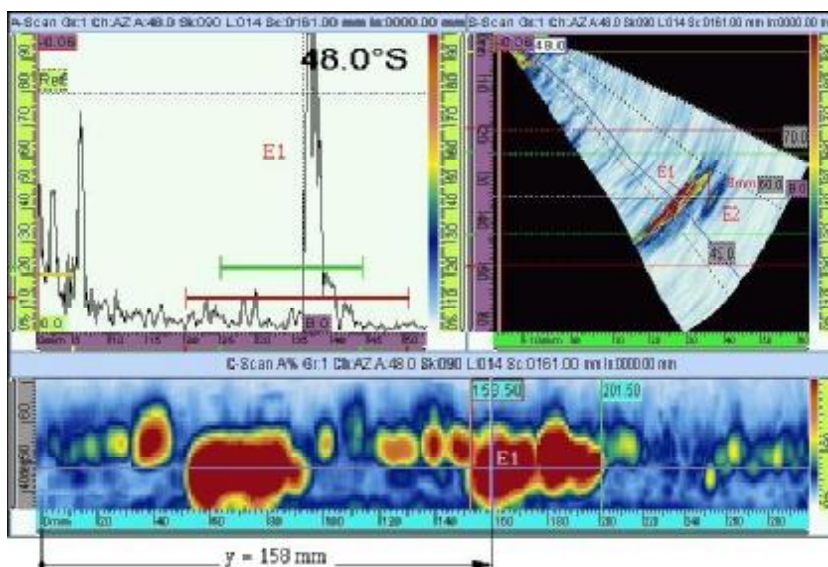
Následkom odrazu v zaoblenom koreni bola v skutočnosti prezvučovaná oblasť zvaru o trochu väčšia ako na obrázkoch a mohlo dôjsť aj k transformácii malej časti energie ultrazvukového lúča na pozdĺžnu vlnu.

## Zobrazovanie indikácií

Pri skúšaní technikou phased array sa používa niekoľko spôsobov zobrazenia indikácií, z ktorých každá má svoje výhody aj nevýhody. OmniScan pri pohybe sondy po skúšanom povrchu kontinuálne zaznamenáva celý sektor A - scanov, v ktorom sa vychýľuje ultrazvukový zväzok. Pri každom impulze z enkodéra snímajúceho dráhu sondy po skúšanom povrchu sa do pamäti zaznamenáva súradnica sondy a sektorové zobrazenie (S - scan) v danom mieste (Obr.4). Z takto nazbieraných S - scanov sa potom podľa voľby operátora vyberá A - scan pre zvolený uhol, B - scan pre zvolený uhol a C - scan zobrazujúci určitú hĺbkovú vrstvu materiálu určenú umiestnením a šírkou brány.



Obr.4 Spôsoby zobrazenia nálezov pri likmome prezvučovaní. Na nasledovnom obrázku je ukázané zobrazenie pri reálnom skúšaní.



Obr.5 Súčasné zobrazenie A - scanu S - scanu a C-scanu pri skúaní zvaru.

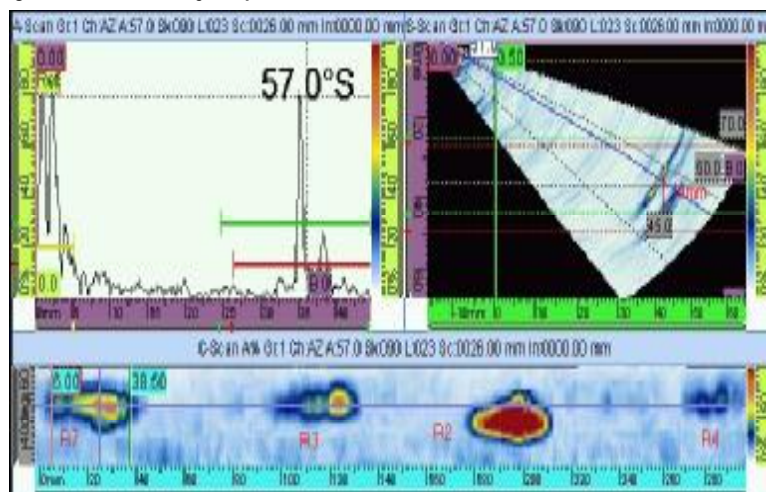
Na tomto obrázku možno ukázať, prečo sa pri skúaní zvarov technikou phased array používajú súčasne viac typov zobrazení:

A - scan na Obr.5 zobrazuje iba echá z miesta  $y = 158$  mm zaznamenané lúčom  $48^\circ$ . Echo E2 nie je v A-scane vidieť, pretože leží mimo uhlu  $48^\circ$  a nie je ho vidieť ani v C-scane, pretože je ukryté za oveľa väčším, echom E1. Je teda zrejme, že ak chceme dostať čo najviac informácií o zistených chybách, použitie viacerých typov zobrazenia je nutnosťou.

## Výsledok skúšok zvarov technikou phased array

### 1. Zvar R

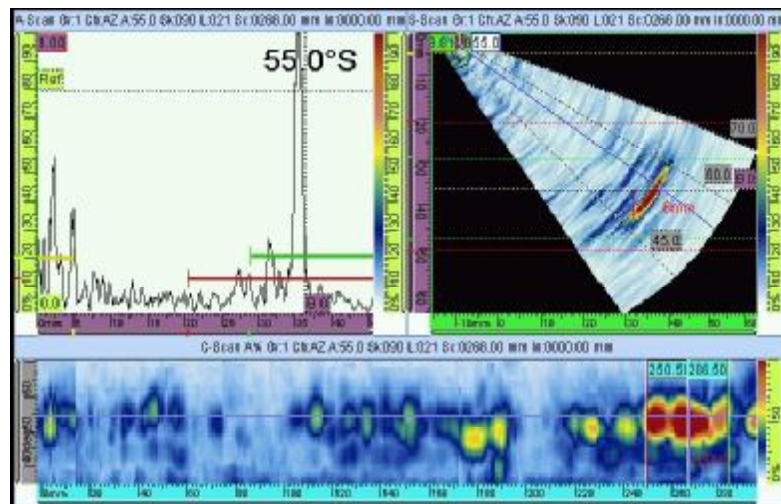
Zvar R je heterogénny, spája austenitickú a feritickú časť potrubia. Z desiatich necelistvostí vyhotovených do zvaru R bolo identifikovaných v ôbkých desať. Lepšie výsledky a ľahšie interpretovateľný ultrazvukový obraz necelistvostí bol získaný prezvučováním zo strany feritického materiálu. Prezvučovanie zo strany austenitu bolo poznačené umom od jeho hrubozrnnej štruktúry a bolo menej úspešné.



Obr.6 Ukážka výsledku skúšky časti zvaru R technikou Phased Array

### 2. Zvar S37

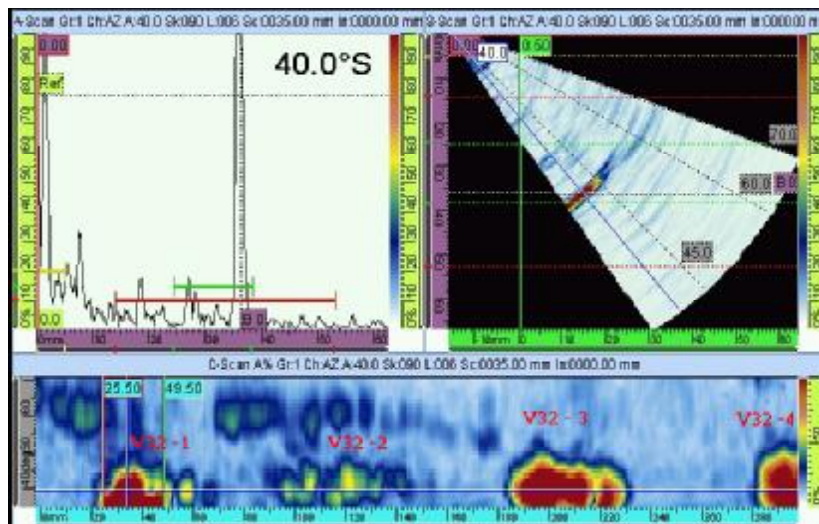
Obe časti potrubia spojené zvarom S37 a aj samotný zvar sú austenitické. To sa negatívne prejavilo aj na výsledkoch prezvučovania. Z desiatich necelistvostí bolo identifikovaných esť, pričom obraz nálezov nebol v dy jednozna čný, echá od koreňových necelistvostí sa ťa ko odlí ovali od tvarových odrazov z mierne prete čeného koreňa.



Obr.7 Uká ka výsledku skú ky časti zvaru S37 technikou Phased Array

### 3. Zvar V32

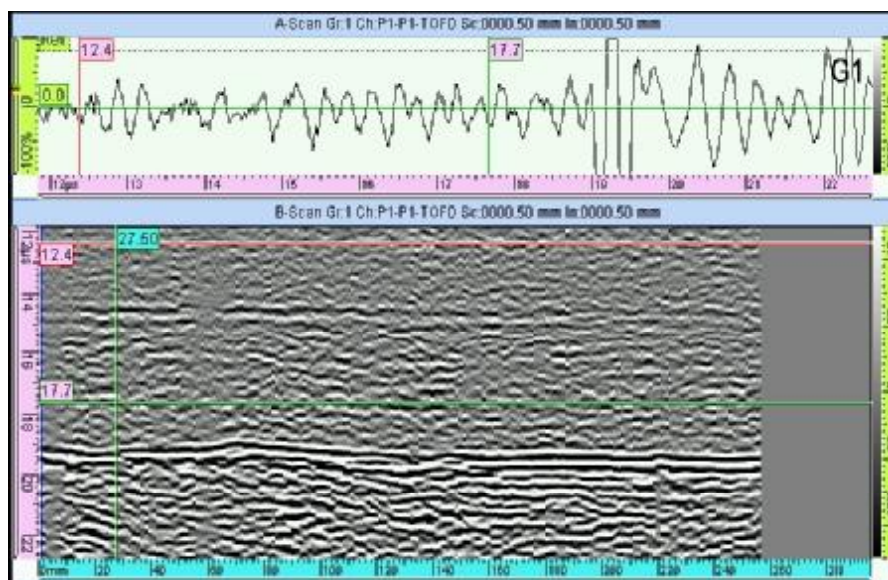
Tento zvar je heterogénny. Z jedenástich necelistvostí bolo zistených devä ť. Aj v tomto prípade bolo úspe nej ie prezvu čovanie zo strany feritu.



Obr.8 Uká ka výsledku skú ky časti zvaru V32 technikou Phased Array

Skú anie zvarov technikou TOFD

Na zvaru V32 bolo odskúšané aj použitie techniky TOFD, ktorá má pri skúšaní zvarov feritických materiálov výhodu najmä v tom, že umožňuje zistiť hĺbkový rozmer necelistvostí, čo je výhodou najmä u trhlín a studených spojov v úkose zvaru. Pri aplikácii TOFD u zvaru V32 sa však ukázalo, že nie je možné odlišiť difrakčné echá vyvolané necelistvosťami zvaru od echu na pozadí, ktorý spôsobuje hrubozrnná štruktúra austenitu. Pri skúšaní technikou TOFD bola použitá dvojica sond  $\varnothing$  5 mm frekvencie 5 MHz s klinmi pre pozdĺžnu vlnu  $45^\circ$ . Rozostup sond bol 80 mm. Vzhľadom na útlm austenitického materiálu bolo použitý predzosilovač so ziskom 40 dB. Celkové zosilnenie pri skúšaní bolo 80 dB. Na potlačenie echu bolo použité spriemerovanie s faktorom 16. Napriek snahe dosiahnuť uvedeným spôsobom zlepšenie pomeru užitného signálu k echu, nebol výsledok (Obr.8) vyhovujúci ani u heterogénnych zvarov.



Obr.9 Ukávkový výsledok skúšky časti zvaru V 32 technikou TOFD

Ako vidieť získaný obraz je zašumený a neinterpretovateľný. Na základe týchto pokusov sme usúdili, že technika TOFD nie je vhodnou pre daný typ zvarov.

## Záver

Skúšanie heterogénnych zvarov je účinnejšie zo strany feritického materiálu a skúšanie austenitických zvarov bolo podľa očakávania menej úspešné ako heterogénnych zvarov.

Z dosiahnutých výsledkov na testovacích zvaroch usudzujeme, že skúšanie technikou phased array by napriek niektorým svojim nedostatkom mohlo byť vhodné aj pri nasadení na skutočnom zariadení.

Skúšanie technikou TOFD nepovažujeme za vhodné ani pre heterogénne, ani pre austenitické zvary.

**Poznámka:** Okrem ech od zámerne implementovaných necelistvostí boli v niektorých prípadoch zistené aj indikácie, ktoré podľa nášho názoru pochádzajú od prirodzených chýb zvarov, a chýb ktoré boli do zvarov zanesené pri vsádzaní implantátov. Amplitúda týchto indikácií je však podstatne nižšia ako u zámerne vyhotovených necelistvostí