

Ultrazvuková kontrola zvarov na železných materiáloch s hrúbkou do 8 mm

Radoslav Koňár, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: radoslav.konar@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2799

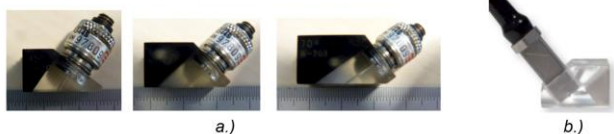
Ultrasonic inspection of welds on ferrous materials with a material thickness of up to 8 mm

Abstract: The paper deals with the possibilities of inspecting butt welds on steel materials with a wall thickness of up to 8 mm using phased array ultrasonic technology. The possibility of using ultrasonic technology also for materials with a wall thickness of up to 8 mm will allow in practice the extension of ultrasonic inspections to welds that are currently inspected only by the x-ray method. Ultrasonic inspection could fully replace the x-ray test, thereby increasing the efficiency and flexibility of *NDT* inspections in the construction of steel structures.

Keywords: ultrasonic testing, butt weld, thickness up to 8 mm, phased array

ÚVOD

Úloha nedeštruktívneho skúšania v strojárskom priemysle je rýchlo a spoľahlivo identifikovať vnútorné a vonkajšie defekty zvarov a materiálov s možnosťou opakovateľnosti kontroly. Táto podmienka sa vzťahuje aj na objemové skúšanie ultrazvukom. Pri konvenčnej ultrazvukovej kontrole tupých zvarov s hrúbkou základného materiálu pod 8 mm je ultrazvuková kontrola obmedzená najmä z pohľadu spoľahlivosti metódy, kedy z dôvodu konštrukcie sondy nie je možné skontrolovať celý objem zvaru (najmä oblasť koreňa). Jednou z možností je použiť miniatúrne konvenčné uhlové jednomeničové sondy, ktorých spoľahlivosť je tiež obmedzená hlavne z dôvodu šírenia ultrazvukového lúča iba pod jedným uhlom. Táto vlastnosť jednomeničovej sondy môže spôsobiť prehliadnutie určitých typov plošných chýb, ktoré majú vo zvere nevhodnú orientáciu spôsobujúcu odraz energie mimo sondy. Riešením tohto problému je použitie miniatúrnych uhlových *phased array* sond pri aplikácii ručného alebo automatizovaného skúšania materiálov a rúr s hrúbkou pod 8 mm.



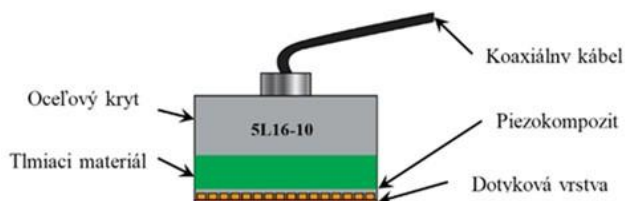
Obr. 1. Ultrazvukové sondy:

- a) miniatúrne jednomeničové sondy,
b) miniatúrna PA sonda

1 TECHNIKA PHASED ARRAY (PA)

Ultrazvuková sonda PA je prijímačom a zároveň aj vysielateľom ultrazvukových vln. Súčasné ultrazvukové sondy PA sa môžu skladať až z 256 takýchto elementov. Usporiadanie elementov môže byť rôzne, ale čím je viac zložitejšie, tým je náročnejšie na výrobu a cena ultrazvukovej sondy rastie. Najčastejšie sa vyrábajú sondy s lineárnym usporiadaním elementov [1-3].

Všetky elementy sú uložené najčastejšie v polymérovej matrici, resp. ide o piezokompozitné materiály, ktoré sú typické pre ultrazvukové sondy PA. Elektrické impulzy sú k jednotlivým elementom sondy privádzané koaxiálnym káblom. Piezokompozitný menič a tlmiace teliesko sú uložené v oceľovom kryte.

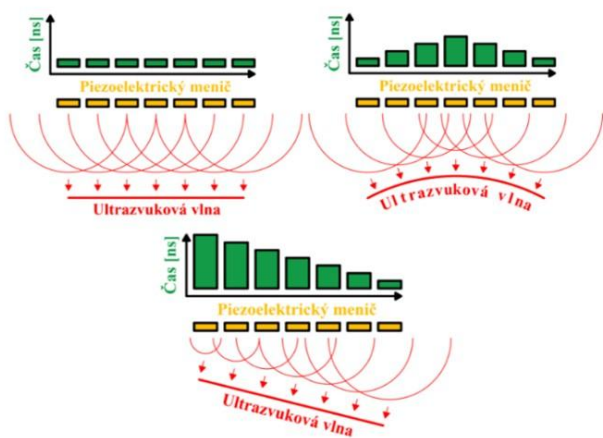


Obr. 2. Ultrazvuková sonda *Phased Array*

Piezokompozit je z vrchnej časti pokovený a zo spodnej časti ho chráni pred mechanickým poškodením dotyková vrstva (obr. 2). Vyrábané sú rôzne typy ultrazvukových PA sond, rôznych tvarov a rozmerov, ktoré závisia od geometrie a počtu jednotlivých elementov [7, 8].

Prevažná väčšina ultrazvukových sond, rovnako ako aj *PA sondy* sú konštruované pre použitie spolu s plexisklovým nadstavcom. Úlohou plexisklového nadstavca je dosiahnuť požadovaný uhol lomu ultrazvukového lúča, chrániť sondu pred mechanickým poškodením a „absorbovať“ jej mŕtve pásmo. Plexisklové nadstavce sú vyrábané v rôznych tvaroch a rozmeroch pre pozdĺžne alebo priečne ultrazvukové vlny. Vyrábajú sa aj špeciálne plexisklové nadstavce so zakrivenými povrchmi pre kontrolu valcových alebo guľových plôch.

Jednotlivé piezoelektrické meniče, resp. elementy *ultrazvukovej PA sondy* sú budené elektrickými impulzmi s rôznym časovým oneskorením (časovým zákonom), čím získavame sondu s variabilným zväzkom ultrazvukových vln (obr. 3).



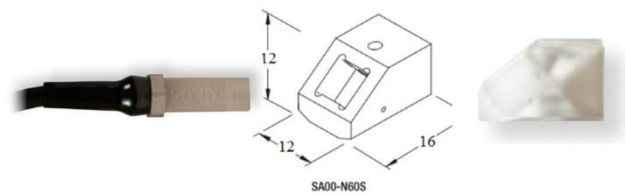
Obr. 3. Princíp elektronického riadenia ultrazvukového zväzku [4]

Z jednotlivých elementov *ultrazvukovej PA sondy* sa šíri elementárna guľová vlna. Celková plocha týchto elementárnych vln tvorí výslednú vlnoplochu a každý bod vlnoplochy sa stáva bodovým zdrojom vlnenia, ktoré sa potom do okolia šíri všetkými smermi. Tento mechanizmus je využívaný pri modifikácii zväzku ultrazvukových vln. Pri súčasnom buzení všetkých meničov sondy sa generuje výsledná vlna smerujúca v priamom smere ako pri konvenčnej priamej sonde. Riadeným časovým oneskorením príchodu elektrických impulzov do jednotlivých elementov dokážeme modifikovať tvar a smer šíriaceho sa zväzku ultrazvukových vln, a tým simulovať pohyb sondy [3, 4].

2 MOŽNOSTI SKÚŠANIA TUPÝCH ZVAROV POD 8 MM TECHNIKOU PA

Jednou s možností ako skúšať ultrazvukom tupé zvary na potrubíach s hrúbkou základného materiálu pod 8 mm je použitie miniatúrnych *PA sond* s vyššími frekvenciami a úzkou predškádkou (obr. 4). Pre názornosť ako aj pre simuláciu šírenia ultrazvuku bola vybraná sonda *Olympus 10L16 SA00* s predškádkovým klinom *SA00 N60S*. Sonda má frekvenciu 10 MHz a

16 elementov s aktívnou apertúrou 5 mm. Rozmery sondy sú 8×8×23 mm. Predškádka *SA00 N60S* je určená pre generovanie sektorového *S-skenu* s priečnymi vlnami v rozmedzí od 45° ÷ 75° s natívnym uhlom 60° s rozmermi 21×14×13 mm [4].

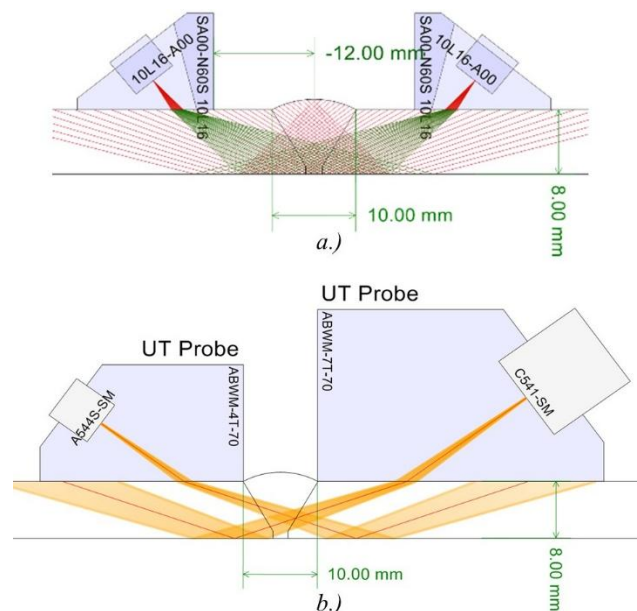


Obr. 4. Miniatúrna *PA* sonda 10L16-A00 s predškádkou [1]

Simulácia šírenia ultrazvuku v tupých zvaroch pri použití konvenčných sond a sondy *PA* bola vykonaná v programe *ES Beam Tool*. Ide o softvér umožňujúci simulovať šírenie ultrazvuku v materiáli. Program uvažuje pri výpočte aj s parametrami sondy ako priemer meniča, frekvencia a tiež s uhlom lomu a odrazu ultrazvuku v materiáli. Pre názornosť boli použité hrúbky základného materiálu 4, 6 a 8 mm.

Ako konvenčná ultrazvuková sonda s jedným meničom bola vybraná *C541-SM* (10 MHz, priemer meniča 10 mm) s bežne používanou predškádkou *ABWT-7T-70* a sonda *A544S-SM* s miniatúrnou predškádkou *ABWM-4T*.

Ako prvá bola vykonaná simulácia na tupom zvare s uhlom rozvetvenia 60° s hrúbkou základného materiálu 8 mm. Pre porovnanie bola vykonaná simulácia s použitím *PA* sondy, ako aj s konvenčnými uhlovými sondami s uhlom lomu 70° (obr. 5).

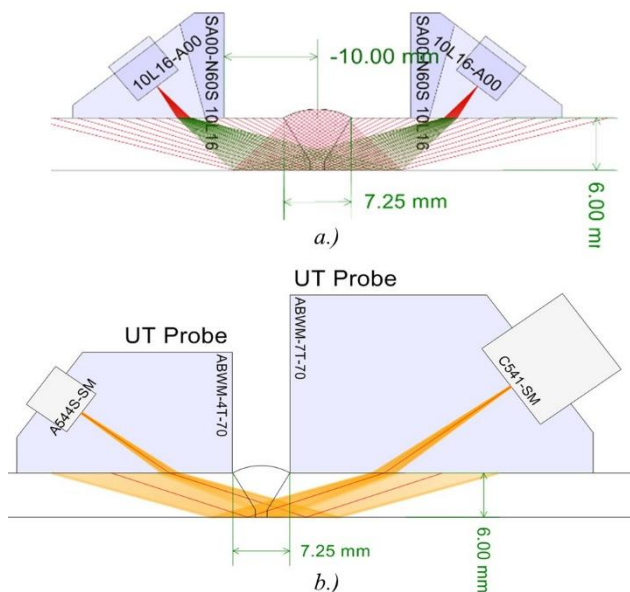


Obr. 5. Simulácia šírenia ultrazvuku pre tupý zvar s hrúbkou základného materiálu 8 mm: a.) pre sondu *PA*, b.) pre konvenčné ultrazvukové sondy

V tomto prípade nebol problém preskúšať celý objem zvaru sondou *PA* a tiež konvenčnými sondami. Kontrolu technikou *PA* je možné vykonať v jednej

pozícií sondy z oboch strán zvaru vo vzdialenosti 12 mm od osi zvaru. Dôležitým faktorom pre možnosť skúšania je najmä šírka prevýšenia zvaru, ktorá bola v tomto prípade 10 mm. Čím bude šírka prevýšenia väčšia, tým sa minimálna vzdialenosť čela sondy od osi zvaru bude zvyšovať až do vzdialenosti, kedy priamy ultrazvukový lúč nebude dopadať do oblasti koreňa zvaru a teda nebude možné odskúšať celý jeho objem. Táto maximálna šírka prevýšenia zvaru s ohľadom na „prezvučanie“ koreňa pre predsádku *ABWM-7T-70* je 18 mm, pre predsádku *ABWM-4T-70* je 25 mm a pre sondu *PA* s predsádkou *SA00-N60S* je to 30 mm, kedy koreň zvaru bude kontrolovaný ultrazvukovým zväzkom s uhlom lomu v materiáli okolo 70° [4-6].

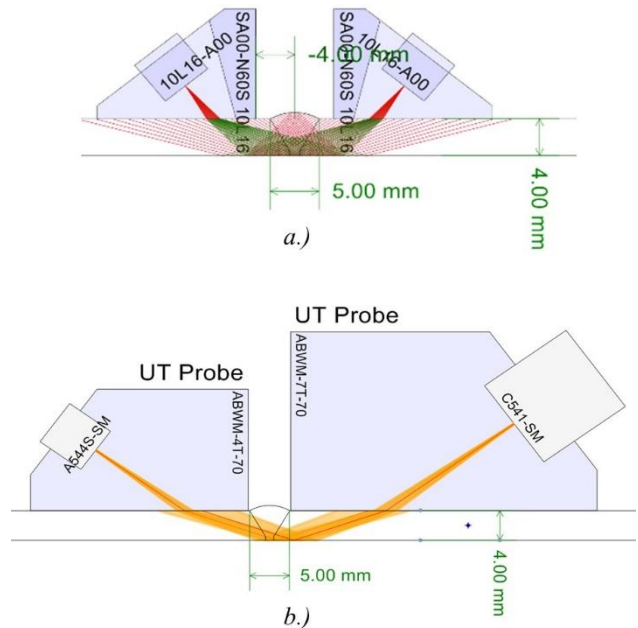
Ako druhá bola vykonaná simulácia ultrazvukového skúšania tupého zvaru s hrúbkou materiálu 6 mm. Uhol rozvretia bol opäť 60° . V tomto prípade je šírka v prevýšení zvaru 7,25 mm (obr. 6).



Obr. 6. Simulácia šírenia ultrazvuku pre tupý zvar s hrúbkou základného materiálu 6 mm:
a) pre sondu *PA*, b) pre konvenčné ultrazvukové sondy

Kontrola konvenčnou sondou s predsádkou *ABWM-7T-70* je v tomto prípade už na hranici skúšania, pretože pri opretí čela sondy o prevýšenie ultrazvukový lúč smeruje presne do koreňa zvaru. Miniaturna predsádka *ABWM-4T-70* je pre skúšanie zvaru s hrúbkou 6 mm vhodná, avšak pri veľkom zväzšení šírky prevýšenia by táto sonda už nebola použiteľná. Pri simulácii so sondou *PA* má táto technika, čo sa týka šírky prevýšenia, ešte dostatočnú rezervu, šírka prevýšenia by v tomto prípade mohla byť max. 20 mm.

Poslednou simuláciou v programe *ES Beam Tool 5* je simulácia šírenia ultrazvuku vo zvarovom spoji s hrúbkou základného materiálu 4 mm (obr. 7).



Obr. 7. Simulácia šírenia ultrazvuku pre tupý zvar s hrúbkou základného materiálu 4 mm:
a) pre sondu *PA*, b) pre konvenčné ultrazvukové sondy

Kontrola bežnou predsádkou *ABWM-7T-70* pri hrúbke materiálu 4 mm a šírke prevýšenia 5 mm už nie je možná, pretože nedokážeme preskúšať oblasť koreňa zvaru. Predsádka *ABWM-4T-70* sa nachádza v hraničnej pozícii, kedy ultrazvukový lúč smeruje priamo do koreňa zvaru. Pri väčšej šírke prevýšenia by už skúšanie nebolo možné vykonať. Vychádzajúc zo simulácie je skúšanie *PA* sondou možné bez akýchkoľvek prekážok. Sonda má aj v tomto prípade dostatočnú rezervu, čo sa týka šírky prevýšenia zvaru. Maximálna šírka prevýšenia by mohla dosahovať v tomto prípade až 8 mm [4].

ZÁVER

Z vykonaných simulácií možno vyvodit' závery, že pre skúšanie materiálov s hrúbkami menej ako 8 mm je možné použiť miniaturne uhlové konvenčné sondy s jedným meničom a to len do hrúbky 6 mm. Pre hrúbky materiálov menej ako 6 mm je optimálnym riešením použitie miniaturných *PA* sond, ktoré sú svojou variabilitou predurčené prispôsobiť sa zložitým geometrickým konfiguráciám zvarového spoja. Pri voľbe optimálnej metódy, ako aj stanovení správnej polohy sondy pri skúšaní je vhodné použiť program umožňujúci simuláciu šírenia ultrazvukového zväzku a tak si potvrdiť správnosť návrhu a spoľahlivosť zvolenej metódy a postupu skúšania. Správnym postupom skúšania je teda možné kontrolovať tupé zvary na materiáloch s hrúbkou nad 4 mm.

Pod'akovanie

Článok vznikol v rámci riešenia projektu *KEGA-018ŽU-4/2025* a *VEGA-1/0044/22* podporeného

LITERATÚRA

[1] OLYMPUS (2025): Phased Array Tutorial. [online]. 2025, [cit. 2025-05-20]. Dostupné na internete: <<http://www.olympus-ims.com/cs/ndt-tutorials/phased-array>>.

[2] OLYMPUS (2025): OmniScan SX. [online]. 2025, [cit. 2025-05-20]. Dostupné na internete: <http://cache.olympus-ims.com/downloads/storage/276825452/OmniScan_SX_EN_LTR_201306.pdf?_gda_=1383820232_dd0d2d3ecb1298a7c408b7371a32b361>.

[3] KONAR, R. et al. (2021): *Numerical simulation of a temperature field during multi-beads surface welding*. In: Journal of Applied Mathematics and Computation Mechanics. Vol. 20, Iss. 1, 49-59 p. ISSN 2299-9965.

[4] GUO, W. et al. (2017): *Research on Phased Array Ultrasonic Technique for Testing Tube to Tube-Sheet Welds of Heat Exchanger*. In: Proceedings of the ASME Pressure Vessels and Piping Conference. Vol. 5, ISBN 978-0-7918-5041-1.

[5] STN EN ISO 17 640 (2019): *Nedeštruktívne skúšanie zvarov*. Skúšanie zvarových spojov ultrazvukom. 2019

[6] STN EN ISO 11 666 (2018): *Nedeštruktívne skúšanie zvarov*. Skúšanie zvarových spojov ultrazvukom. Úrovne prípustnosti. 2018