



RUČNÍ, MECHANIZOVANÉ A MANIPULÁTOROVÉ KONTROLY ULTRAZVUKEM METODOU PHASED ARRAY A TOFD – PRAKTICKÉ PŘÍKLADY MANUAL, MECHANIZED AND MANIPULATOR INSPECTION BY MEANS OF ULTRASONIC PHASED ARRAY AND TOFD METHODS – PRACTICAL EXAMPLES

Miloslav PROCHÁZKA, Roman BENEŠ

TEDIKO, s.r.o.

Contact e-mail: info@tediko.cz

Abstrakt

Tento článek je zaměřen na praktickou stránku měření ultrazvukem v elektrárnách, chemických výrobnách a rafinériích metodami Phased Array a TOFD včetně pomoci mechanizovaných prostředků. Praktické příklady praktické stránky uskutečněných měření – kontroly tlakových nádob a potrubí, kontroly svarových spojů, kontrola na přítomnost a rozsah poškození nádob blistry a jinými vadami.

Klíčová slova: zkoušení ultrazvukem, manipulátor, phased array, TOFD

Abstract

This article describes the practical examples of ultrasonic measuring in power and chemical plants and refineries by means of Phased Array and TOFD methods using manipulators included. The examples of performed inspections from practice - real measuring of pressurised vessels and piping, welds inspection, HIC blister damage and other flaw identification.

Key words : ultrasonic inspection, manipulator, phased array, TOFD

1. Úvod

Tento příspěvek navazuje na příspěvek o mechanizaci při kontrole ultrazvukem prezentovaný na konferenci v roce 2010. Zaměřením ukazuje některé konkrétní aplikace ultrazvukové metody zkoušení. Zabývá se pouze některými našimi zkušenostmi, které z uskutečněných měření vyplynuly, nikoliv na jedné straně teorií či naopak na druhé straně velmi drahými špičkovými aplikacemi.

2. Informace získávané při měření

Informace získávané z jakéhokoliv měření mohou být různého druhu a mít různou hodnotu. Asi tou nejjednodušší informací je informace, zda kontrolovaná věc (zařízení, součást, výrobek, ...) vyhovují požadavku nějaké normy či předpisu. Pracovník provádějící kontrolu se zajímá, tu s větší, tu s menší snahou, pouze o to, zda byla či nebyla naplněna nějaká kritéria. Na základě výsledků se pak daný „zkoušenec“ uvolní k dalšímu použití, nebo se opraví či vyřadí. Zkoušející má „čistou hlavu“ a radostně pokračuje v další činnosti.

Úroveň poskytovaná informace je ale velmi nízká. Při měření tloušťek stěn je potom výsledkem nějaké číslo. Často ve skutečnosti vytržené z kontextu, protože vyjadřuje hodnotu pouze a jenom toho jediného měřeného bodu na základě jehož se provádí odhad stavu celku.

V případě, že je ale potřebné zařízení dále provozovat, přestože „obsahuje“ vady, je nutné získat komplexnější informaci. To lze řešit mapováním určitých míst měření tloušťek v sítích případně prováděním měření B-Skenů, kontrolou různými ultrazvukovými sondami v různých polohách, zkreslováním výsledků atd. Nemluvíme zde o ostatních metodách, které by jistě v komplexním pojetí měly co říci.

Použití manipulatorového skenování ultrazvukovými sondami, tak jak se provádělo v minulosti či použití Phased Array (PA) umožňuje získat oproti běžným ultrazvukovým měřením podstatně komplexnější informaci. Měření je doopravdy objemové, tzn. dochází k prozvučení a záznamu objemu materiálu, jehož rozměry jsou dány účinnou délkou sondy (závisí především na počtu elementů), tloušťkou materiálu a dráhou posunu sondy.

To umožňuje získat novou hodnotu informace, kterou lze i určitým způsobem zviditelnit. Samozřejmě může nastat menší odpor daný zažitými konvencemi, například na straně výpočtářů, ale to bude dáno především tím, že se musí naučit s těmito informacemi zacházet. Nedostává do ruky nákres a tabulku s hodnotami, ale dostává i obrázek – pohled na zkoušené zařízení.

Problémem je, že nový pohled také znamená, že nelze aplikovat původní přístupy ke kritériím hodnocení. Hodnocení nelze provádět jen tak na základě náhradní velikosti. Možná zazní námitka, že to přece některé kombinace přístrojů, softwaru a sond umí. To ano, ale potom se vlastně bez ohledu na použití moderní technologie používá stále stejný přístup. Omlouvám se za následující přirovnání, ale je to jako klasický psací stroj tisknoucí přes pásku písmenka na papír, ale ovládaný z klávesnice na počítači. Čili pro základní aplikace nahrazující klasické ultrazvukové ruční měření je to výrazný pokrok, ale např. pro stanovování životnosti na základě ocenění konkrétních vad je to málo.

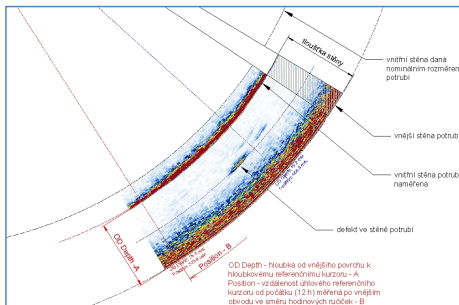
Navíc je zde ještě jedna důležitá věc – jednotlivé ultrazvukové metody nejdou jen tak vzájemně zaměňovat z hlediska získávaných informací – každá přináší trochu jiný pohled, každá je na něco lepší a na něco horší.

Kontrolovat plošně pomocí Phased Array lze takto potrubí, nádrže, zásobníky, nádoby atd. Samozřejmě, že takováto měření jsou vzhledem k použité technologii poněkud dražší, ovšem přinášejí větší informaci za kratší čas.

V případě kontroly svarových spojů jak metodou PA tak TOFD lze říci, že se zvyšuje opět vypovídací schopnost měření, při současném použití lze obě metody zároveň konfrontovat mezi sebou a tím ověřovat zjištěné skutečnosti. Měření je ale také relativně rychlé, existuje záznam a hodnocení lze provádět v kanceláři a nikoliv někde v terénu za nepříznivých podmínek.

3. Základní podmínky

V příspěvcích na minulých konferencích bylo mimo jiné ukázáno i měření Phased Array po obvodu trubky, u které docházelo na vnitřním povrchu k eroznímu poškození. Toto měření bylo ještě prováděno manuálně se všemi svými nechtosmi. Přesto bylo velmi přesvědčivé. Podobně tak měření prováděné na tlustostěnných tlakových nádobách. Při těchto měřeních byla a je sonda používána v režimu přímé sondy, ovšem sondy, která místo jednoho měniče má desítky měničů - až 128. Jen pro velmi rychlé zopakování je uveden následující obrázek.



Jakákoliv podobná měření ovšem mají společných několik věcí. Je nutné používat zařízení, které umožňuje kompletní záznam dat, použít enkodéry a dále možnost počítačového zpracování. Vůbec tedy nestačí jakékoliv zařízení deklarované jako Phased Array. To je základní a zcela kardinální omyl. Je to stejné jako s dopravními prostředky – např. kola mají jako základní pohybový prostředek koloběžky, jízdní kola atd. až po nákladní automobily, vlaky...

Přesto by se asi nikdo neodvážil požadovat dovezení několika tun písku pomocí jízdního kola. Považoval by to za hloupost. Je ale pozoruhodné, že v případě nedestruktivního zkoušení tomu tak není a často jsou vyžadovány či porovnávány mezi sebou totální nesmysly.

Pro měření PA i TOFD je tedy nutné vytvořit určité předpoklady. Relevantní měření **nelze** uskutečnit bez enkodéru, tzn. že i měřicí zařízení a software musí tuto volbu umožňovat. Pokud má být měření doopravdy spolehlivé, je nutné zaručit dobrou manipulaci se sondou na zkušebním povrchu a bezproblémovou **nepřetržitou** vazbu. Udržet vazbu při pohybu sondou ve vynucené poloze ještě třeba za nižších teplot a na zakřiveném povrchu je velmi obtížné. Jestliže normální kabely od jednoduchých sond za nižších teplot tuhnou (a to nemluvíme o teplotách blízcích se nule a nižších), tak ztuhlé poměrně masivní kabely sond PA představují výrazný ztěžující moment pro jemnou manipulaci. Protože je v případě větších ploch nutné jednotlivé skeny skládat do větších ploch, je ruční vedení při měření téměř až nemožné. Používáme tedy imerzní vazbu vodou pomocí speciální předsádky. Imerzní vazba je důležitá ještě z jednoho důvodu – sondy jsou drahé a riziko „ošoupání“ a tedy zničení je velké.

V jednoduchých případech lze použít jednoduchý manipulátor vybavený enkodérem. Pokud je ale naším zájmem pořizovat záznam, který budeme moci analyzovat až po měření a to záznam ploch, linií atd., potom nevystačíme jen s ručním vedením ultrazvukové sondy bez jakýchkoliv pomocných prostředků umožňujících plynulé a nepřetržité vedení sondy. Samozřejmě tedy nemluvíme o záznamu jednotlivých statických obrázků, jak umí většina dnes prodávaných přístrojů.

Pro měření používáme různé druhy manipulátorů a to jak s ručním tak s motorizovaným pohybem. Pro návrh a tvorbu složitějších zařízení vlastní konstrukce používáme konstrukční software umožňující 3D modelování. Většina podobného softwaru umožňuje jak zhotovení přesné dokumentace tak i modelování činnosti. Výhodou je velmi rychlá simulace a výrazná redukce způsobu konstrukce metodou „pokus-omyl“.

Na základě našich zkušeností z minulých let, které jsou částečně vysvětleny i výše v textu, byly některé původní manipulátory přestruovány, případně byly do života uvedeny nové konstrukce, které nám umožňují provádění kontrol ploch 0,5 x 0,5 m (a to včetně ploch zaoblených), provádění kontrol svarových spojů na nádobách a nádržích, provádění kontrol na trubkách a tyčích od průměru cca 25 mm do cca 600 mm. Některé jsou určeny pro kontroly metodou Phased Array, jiné pro kontrolu metodou TOFD.

Pro slušnost se sluší dodat, že ne všechna zařízení jsou vlastní výroby.

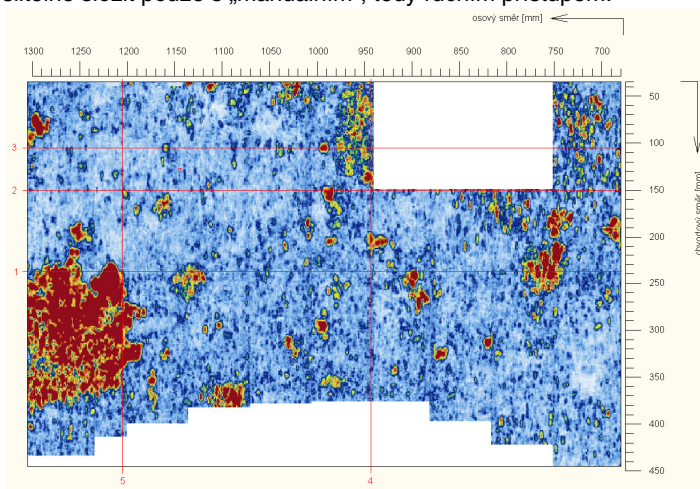
4. Kontrola ploch

V jednom z minulých příspěvků byla naznačena kontrola tlustostěnných nádob. V tomto případě se jednalo o získávání podkladů pro výpočty. V jiném případě, který je na následujícím obrázku, je ukázána kontrola nádrže korozně poškozené vodíkovou korozí (HIC) pomocí motorizovaného X-Y skeneru.

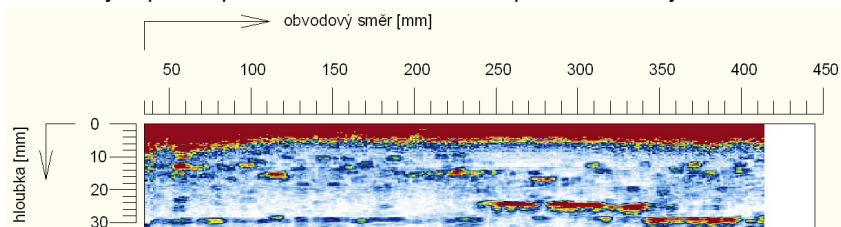


Kontrola byla provedena za účelem zmapování poškození stěny. Prováděla se dvakrát s časovým rozestupem, tzn. bylo možné porovnávat dva výsledky navzájem. Kromě ultrazukové kontroly se prováděla i kontrola vizuální a sledování za provozu pomocí akustické emise.

Po vyřazení nádoby z provozu budou dále šetřeny odebrané vzorky. Výsledkem ultrazukové kontroly je níže uvedený obraz plochy (na obrázku je vidět souřadný systém), ve které jsou přímo nádherně vidět místa s vadami, v tomto případě poškozený materiál stěny nádoby s vytvářejícími se blistry. Takovýto obraz je zcela nemyslitelné složit pouze s „manuálním“, tedy ručním přístupem.



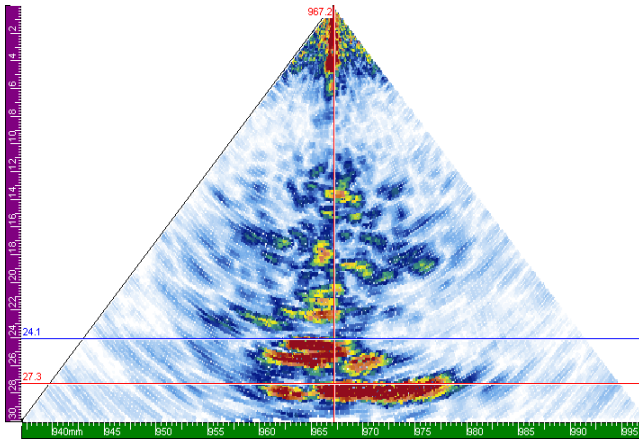
Na následujícím obrázku je uveden jeden z řezů – v tomto případě svislý řez číslo 5 stěnou nádoby. Na řezu jsou velmi dobře vidět místa odrazů ultrazvukové svazky včetně velkých ploch vpravo dole blíže k vnitřnímu povrchu nádoby.



Takovýchto ploch bylo změřeno několik a bylo také provedeno několik desítek řezů jak zobrazujících řez stěnou tak zobrazujících různé vrstvy stěny. Pro ilustraci je níže uveden obrázek velmi dobře ukazující o jaké vady se jedná. Proces vzniku vad tohoto typu je založen na difuzi atomárního vodíku, který se zachycuje v tzv. pastech např. na povrchu rozválcovaných vměstků. Atomární vodík potom vytváří plynný vodík H₂, který nahromaděný kolem vměstků vytváří puchýře, blistry. Atomární vodík také zvyšuje náchylnost oceli k lokalizaci plastické deformace do smykových pásů a to vede v důsledku tahu v zatíženém materiálu ke smykovému protrhávání můstku mezi blistry a to pod úhlem 45°. Vzniká vodíkem indukované praskání (HIC) a v oblasti svarů i příčné porušení mezi můstky (SOHIC).



Vzhledem k tomu, že výše uvedené záznamy jsou pořizovány sondou phased array, která je v režimu přímé sondy, tzn. poskytuje pouze přímý odraz ve směru kolmém na povrch, je nutné ještě ověření, jak vypadá obraz poškození stěny při sektorovém zobrazení. Na následujícím obrázku je právě ukázka sektorového skenu místa poškozeného HIC.



5. Kontrola svarových spojů

Kontrola svarových spojů metodami TOFD a PA není vůbec tak jednoduchá, jak se nás často snaží přesvědčit výrobci. Zároveň ale, pokud je ovšem používána správná technika správným způsobem, není zase tak složitá. Je i relativně rychlá a má slušnou vypovídací schopnost. Jen s normami to není zatím to pravé ořechové. Ale ve skutečnosti většina norem sama o sobě, bez ohledu na „národnost“ není to pravé ořechové ...

I pomocí Phased Array lze kontrolovat svary stejným způsobem jako běžnou UT sondou. Některé PA sondy umí (správněji některé přístroje a SW) hodnotit stejným způsobem jako běžné sondy (AVG, DAC, ...). Ovšem ruční kontrola takovouto sondou je stále jen obvyklou kontrolou, jen s podstatně dražší sondou, pro ruční dohledání a ocenění vady dobré, avšak tímto způsobem není vůbec využit plný potenciál, který v sobě metoda skýtá. Tuto kontrolu lze provádět i tzv. „levnými“ přístroji, těmi však nelze provést nic následujícího.

Kontrola metodou TOFD se provádí se záznamem, protože bez záznamu lze, mírně řečeno, jen velmi těžko vyhodnotit naměřená data. A záznam musí být propojen s údajem z enkodéru, protože nalezené „vady“ se měří, v milimetrech (vkrádá se mi ale taková malá skrytá neodbytná myšlenka - není ale milimetr příliš malá míra ve světle současných trendů „hlavně ať je to dobrý“?).

Pokud se týká PA, je to podobné jako u TOFD, bez záznamu se bude poloha vady a některé z jejích rozměrů hledat hodně špatně.

Vzhledem k výše uvedenému používáme celou řadu manipulačních prostředků, které umožňují kontroly od průměru mírně přes dvacet milimetrů až po „rovinu“. Na dalších obrázcích jsou ilustrační příklady této techniky. Pro menší rozměry používáme dodaný manipulátor Cobra, který umožňuje kontrolu například svarových spojů pomocí dvojice speciálních sond Phased Array vysílajících ultrazvukový svazek proti sobě na osu svarového spoje. Pro větší rozměry již používáme zařízení vlastní konstrukce Lizzard, které umožňuje opět použití dvojice PA sond. Tím je zcela bezproblémově pokryt rozsah zkoušení od cca 25 mm do 600 (800) mm. Pro větší rozměry (průměry) již není nutné (ale je možné) používat tyto manipulační prostředky a lze používat ručního vedení. Ve všech případech je ale samozřejmě nutné použít enkodér polohy.



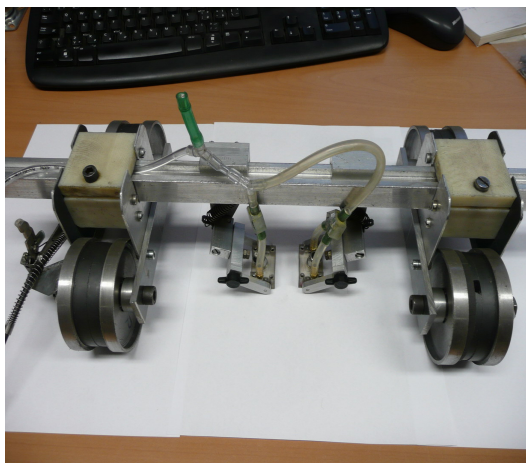
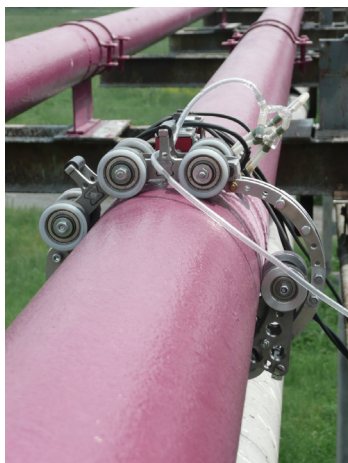
Optimálním se ovšem jeví, pokud lze zároveň provádět měření TOFD i PA. Proč ho provádět nebo proč by to mělo být výhodou ?

Velice významnou výhodou je možnost potvrzení nálezů dvěma různými způsoby. V úvahu připadají samozřejmě minimálně dvě základní možnosti. Provést např. měření PA i TOFD zcela samostatně a využít při porovnávání souřadný systém daný enkodérem je první možností.

Daleko elegantnější je ale použít vše naráz v jednom okamžiku – tedy měřit oběma metodami současně a synchronizovat polohy tak, aby při hodnocení bylo „vidět“ shodné místo jak metodou TOFD tak metodou PA.

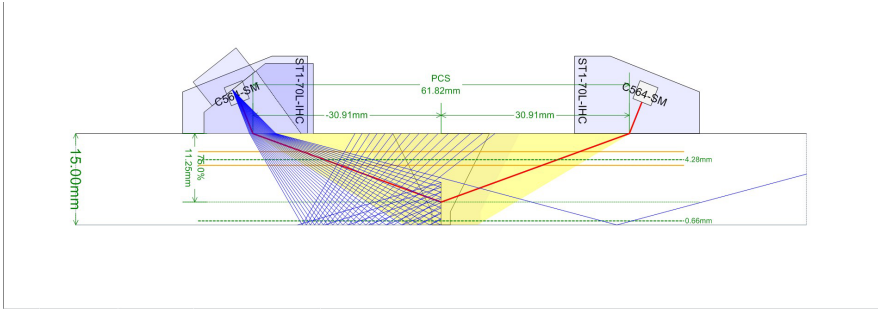
Tento způsob současného použití dvou „principů“ je ale poměrně náročný a to jak na konstrukci zařízení, tak na nastavení a nejvíce ze všeho na přenos dat.

Objem přenášených dat je totiž velmi vysoký. Proto je, přestože jednotlivé samotné kontroly jsou relativně rychlé (především TOFD), zkoušení tímto způsobem pomalejší než zkoušení každou z metod samostatně.

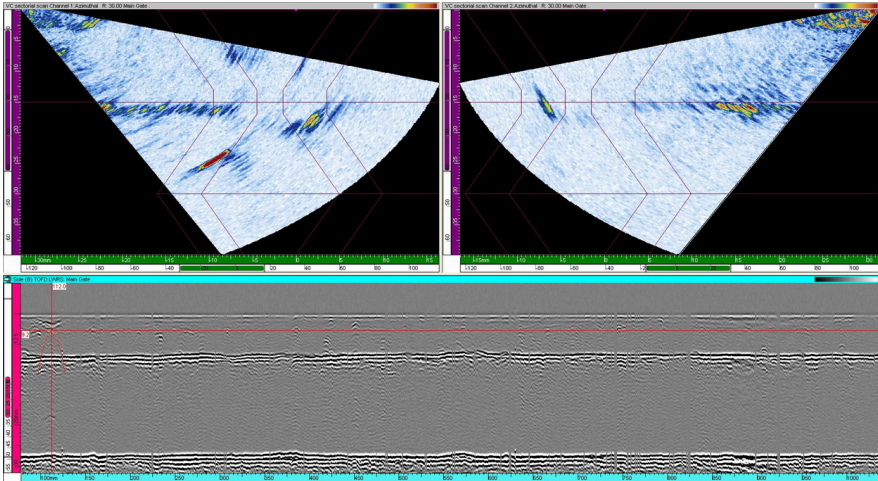


Výhodnější se proto může často jevit použití samotného TOFD, ověření pomocí Phased Array a zároveň ocenění velikosti vad.

Na následujícím obrázku je ukázána simulace souběžného použití zkoušení TOFD a PA. Pro přehlednost je vynechána druhá sonda Phased Array. Odraz svazku PA sondy simuluje odraz od trhliny vycházející z protilehlého povrchu.



Na posledním obrázku tohoto příspěvku je ukázka výše popisovaného způsobu měření na konkrétním svarovém spoji. Červená svislá čára v levé části záznamu TOFD ukazuje místo, které bylo zároveň zjištěno levou PA sondou pod vnějším povrchem. Druhá PA sonda nemá ve stejném místě žádný nález.



6. Závěr

Smyslem tohoto příspěvku bylo ukázat na některé aspekty zkoušení ultrazvukem jiným způsobem než ručně. Každý způsob zkoušení, každá úloha chce „svoje“. Ukázaná měření vyžadují odlišný přístup než ruční zkoušení ultrazvukem. Bez použití mechanizace by zkoušení nebylo téměř možné. Zkušenosti ze zkoušení jsou po překonání počátečních problémů (které jsou ostatně vždy při zahájení jakéhokoliv vývoje) jednoznačně pozitivní. Zkrátil se čas kontroly i hodnocení, zlepšila se kvalita výsledků, snížila namáhavost pro obsluhu a také bylo možné kontrolovat místa, která dříve nebyla jednoduše kontrolovatelná.