



PROVOZNÍ KONTROLY TEPLOSMĚNNÝCH TRUBEK ELEKTROMAGNETICKÝMI METODAMI IN-SERVICE INSPECTION OF HEAT-EXCHANGER TUBES BY MEANS OF ELECTROMAGNETIC METHODS

Miloslav PROCHÁZKA

TEDIKO, s.r.o.

Contact e-mail: info@tediko.cz

Abstrakt

Článek popisuje způsoby kontrol teplosměnných trubek výměníků pomocí elektromagnetických metod – ET-zkoušení vířivými proudy, RFT-zkoušení ve vzdáleném poli vířivých proudů, MFL-zkoušení magnetickými rozptylovými toky. Zjišťování vnitřních a vnějších vad, volba metody v závislosti na materiálu trubek.

Klíčová slova: vířivé proudy, vzdálené pole, magnetické rozptylové toky, trubka, výměník

Abstract

This article describes the methods of heat exchanger tubes inspection by means of electromagnetic methods – ET-eddy current testing, RFT-remote field testing and MFL-magnetic flux leakage. Identification of internal and external flaws, the method choice in dependence on tubes material.

Key words : eddy current, remote field, magnetic flux leakage, tube, heat exchanger

1. Trochu historie - Část 1

Zkoušení elektromagnetickými metodami – konkrétně metodou vířivých proudů má v České republice nezanedbatelnou tradici. A ač se to zdá téměř neuvěřitelné, provozní zkoušení teplosměnných trubek výměníků vířivými proudy má historii již několika desítek let. Stejně tak technický pokrok neuvěřitelně posunul možnosti zkoušení a především hodnocení zkoušených trubek.

Zkoušení trubek výměníků, ze začátku především kondenzátorů, vedlo ke vzniku měřících skupin především v energetice. V bývalém Československu v rámci organizačních složek státních podniků ČEZ a SEP, jakožto českého a slovenského ekvivalentu výrobců elektrické energie a tepla (malá odbočka – kdo ještě dnes ví, že název původně vznikl jako zkratka názvu České energetické závody). V České republice (tehdy socialistické) vznikla v roce 1974 (tedy již téměř před čtyřiceti lety) skupina specialistů v rámci oddělení defektoskopie v Útvaru materiálových služeb Chomutov Severočeských elektráren (EŠČ), n.p., později přeměněném na Koncernové kooperační materiálové středisko (KKMS), které zajišťovalo drtivou většinu kontrol a expertiz v rámci ČEZu. Později, v osmdesátých letech, po přejmenování na Koncernové diagnostické středisko energetiky (KDSE) vznikla v tomto středisku ještě druhá paralelní skupina pro kontroly v rámci výstavby a provozu českých jaderných elektráren (v případě teplosměnných trubek se jednalo o kontrolu všech výměníků včetně kondenzátorů s výjimkou trubek parogenerátorů).

Původní skupina se přitom nadále zabývala kontrolou na klasických elektrárnách a v teplárnách. Po roce 1990 došlo k spojení do jedné skupiny a později většina činností přešla na společnost TEDIKO postupně zároveň se zánikem KDSE.

Pokud se týká Slovenska, následně po vytvoření české skupiny byla vytvořena i skupina slovenská a to v letech 1975 až 1976 v rámci podniku ORGREZ Bratislava.

Další potřeba zkoušení teplosměnných trubek se objevila zároveň s budováním jaderných elektráren, v Čechách nejdříve čtyřblokové jaderné elektrárny Dukovany a později opět čtyřblokové, avšak dodnes nedokončené a tedy dvojblokové elektrárny Temelín. Jednalo a jedná se dosud o kontroly trubek parogenerátorů. Zatímco kontroly v klasické části energetiky jsou spíše motivovány provozními a ekonomickými důvody, parogenerátory představují rozhraní mezi aktivní a neaktivní částí jaderné elektrárny a jsou tedy velmi důležité z důvodů bezpečnostních. Těsnost teplosměnných trubek parogenerátorů je velmi důležitá, aby nedocházelo k průniku primární vody (procházející trubkami) do sekundárního okruhu. Zde se samozřejmě angažoval vítkovický dodavatel parogenerátorů a jeho pracovníci prováděli příslušná měření na parogenerátorech. Na Slovensku již mezitím byly postaveny jaderné bloky v Jaslovských Bohunicích a zde se angažoval VÚJE v Trnavě. Kromě VÚJE se ale měřením trubek zabýval i např. ORGREZ Bratislava.

Mimo provozního zkoušení teplosměnných trubek v energetice se začalo provádět i zkoušení v chemickém průmyslu a rafinériích, zde je možné například jmenovat podniky společnosti Chemopetrol v Neratovicích a Litvínově.

Devadesátá léta dále přinesla i vznik dalších menších měřicích skupin, většinou vytvořených jednotlivci, kteří opouštěli v rámci různých privatizací mateřské firmy a snažili se najít svoji vlastní cestu.

Toto pojednání se bude zbývat kontrolou trubek s výjimkou kontrol trubek parogenerátorů a trubek ve výrobě, protože to jsou v podstatě mírně odlišné směry a přístupy, které zasluhují samostatně zpracovanou a jistě obsáhlou kapitulu.

2. Různorodost zkoušených zařízení a materiálů

Tepelné výměníky představují velice různorodou skupinu zařízení, se kterými se setkáváme v podstatě na každém kroku. Tepelné výměníky nemáme jen v elektrárnách ale i v autech, letadlech, domácnostech, prostě téměř všude. Tepelným výměníkem je vlastně i radiátor topení a je jím vybavena i obyčejná lednička. My se zde ale budeme zabývat pouze kontrolou trubkových výměníků a to ještě výměníků průmyslových. Navíc ještě pouze kontrolou vnitřní sondou, nebudeme se tedy zabývat kontrolou samostatných volných trubek tak, jak se například kontrolují ve výrobě.

Hlavními znaky, kterými se výměníky od sebe liší, jsou konstrukce, počet použitých trubek, materiál trubek a rozměry trubek. Kombinace těchto znaků vede i k volbě metody zkoušení. Dalším faktorem, který samozřejmě částečně ovlivňuje volbu metody je i účel výměníku a jeho provozování a z toho vyplývající poškozování. Jaké jsou tedy jednotlivé možnosti (přehled je samozřejmě poněkud zjednodušen) :

Konstrukce

- výměník se dvěma trubkovnicemi, tzn. výměník s přímými trubkami
- výměník s jednou (dělenou) trubkovicí a U-trubkami

Trubkový svazek

- vyjímatelný z nádoby
- pevně spojený s nádobou

Umístění

- vodorovná pozice
- svislá pozice

Materiál trubek

- trubky z materiálů s relativní permeabilitou $\mu_r=1$ (nemagnetické materiály – mosaz, měď austenit, mědinikl, titan apod.)
- trubky z materiálů s relativní permeabilitou $\mu_r \gg 1$ (magnetické materiály – oceli různého typu, u nás většinou třídy 11 a 12)
- trubky s duplexních ocelí (tedy trubky jehož $\mu_r > 1$, avšak materiál nemá konstantní hodnotu – z hlediska zkoušení není možné postupovat jako při zkoušení nemagnetických ani nemagnetických materiálů)

Rozměry a provedení trubek

- běžně používané průměry (běžně kontrolovatelných elektromagnetickými metodami) jsou od vnitřního průměru cca 10 mm do několika desítek mm
- tloušťky se pohybují od 0,5 mm (u podélně svařovaných) do cca 3 mm (větší tloušťky se kontrolují velmi obtížně, záleží zde na materiálu a průměru trubky)
- trubky bývají většinou hladké, z důvodu zvýšení teplosměnné plochy někdy mívají vyhlazená či nalisovaná žebra, některé trubky z běžných ocelí jsou upraveny prolisováním tak zvláštním způsobem, že je nelze v podstatě těmito metodami zkoušet
- délka trubek se pohybuje od cca 1 m až po 12 m (samozřejmě jsou i výjimky)

Počet trubek

- od extrémního počtu 1 (ano, opravdu jsou výměníky s jednou trubkou, i když např. ve tvaru U !) až po například 20 000 ks a více v případě kondenzátorů páry

Další odlišnosti ovlivňující kontrolu

- počet přepážek, který se pohybuje od žádné až po několik desítek (v extrémních případech jsou přepážky od sebe jenom 15 – 20 cm)
- trubky jsou většinou tažené, tenkostěnné trubky jsou často podélně svařované z pásu

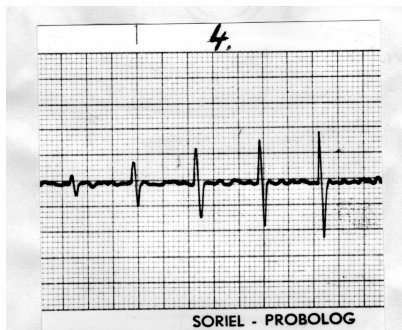
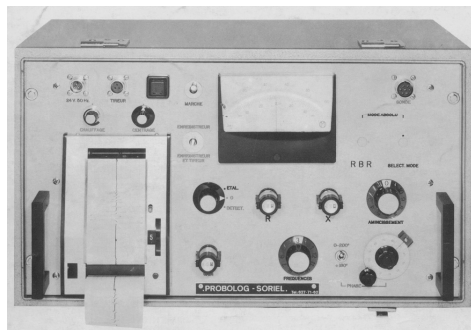
Pokud se týká vad, které se diagnostikují, jejich pestrost a mechanismus vzniku jsou velice různorodé. Jako základní rozdělení můžeme vady rozdělit na vady z vnějšího a vady z vnitřního povrchu. Vady nacházející se mezi povrchy a nekomunikující s nimi jsou vysoce vzácné a jsou to následky výroby.

Pokud se týká druhu vad, základní zjednodušené rozlišení je na vady charakteru důlků způsobených různými projevy koroze, vady charakteru trhlin včetně korozního praskání, vady charakteru erozního (způsobeného prouděním média) či úbrusy (způsobené kmitáváním trubek a jejich třením o sebe případně vůči přepážkám).

3. Trochu historie - Část 2 – Přístroje

Co bylo prvním přístrojem použitým v rámci energetiky ? V roce 1974 byl pořízen (nebo lépe řečeno přidělen v rámci socialistického státního podniku) Utvarem materiálových služeb Chomutov přístroj francouzské proveniencie Soriel Probolog Modéle 71 (viz obr). Jednalo se o bedýnku, kupodivu asi tak velkou jako jsou i dnešní moderní „bedny“ vířivoproudých přístrojů (je zajímavé, že i přístroje této doby byly vlastně black nebo blue či jiné barvy boxy, jen ten počítač nebyl k dispozici – z tohoto pohledu se vlastně tak mnoho nezměnilo). Přístroj byl jednofrekvenční a jednakanálový (jednofrekvenčním se myslí použitelnost jedné frekvence v jednom

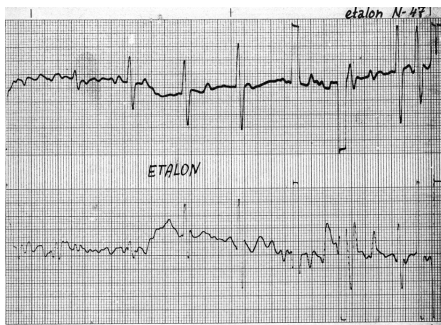
okamžiku, frekvence byly 0,5, 1, 1,5, 5, 10 a 20 kHz). Neměl žádnou obrazovku, výstup byl na papírovou pásku pomocí integrovaného zapisovače, záznam byl tepelný, jeho použitelnost (a čitelnost) byla jen o něco delší než paragony z dnešních (či lépe včerejších) tiskáren na termopapír. Jeho jednobanálový výstup umožňoval nastavit pouze jednu zapisovanou křivku s amplitudou na zvoleném úhlu. Nastavení se provádělo jednoduše na vývrtech a hodnotilo se jen amplitudově. Krátce po Chomutovu byl shodný přístroj v roce 1975 dodán i do ORGREZu Bratislava a pracovníci z Chomutova zacvičovali na tento přístroj pracovníky Orgrezu. Na následujících obrázcích je přístroj Probolog včetně příkladu záznamu pořízeného na trubce s vývrty.



V roce 1981 byl zakoupen, tentokrát již KKMS Chomutov, přístroj VETCO Probolog V202 (VETCO nahradilo Soriel). V tomto případě se jednalo o dokonalejší zařízení, s volbou frekvencí jako u Modelu 71, ale dvoubanálový, který tedy umožňoval

i fázové hodnocení, i když trochu primitivnější. Je nutné podotknout, že frekvence se ani na jednom přístroji nenastavovali, ale měnily se moduly. Záznam byl prováděn na dvoubanálovém zapisovači na termopapír. Přístroj umožňoval i použití dálkově ovládaného tahače. Tímto přístrojem kontrolovalo KKMS (později KDSE) všechny tepelné výměníky v klasické energetice a teplárenství i výměníky při výstavbě a prvních letech provozu JE Dukovany až do konce osmdesátých let. Vzhledem k záznamu na cívky, byly těchto „špilek“ se záznamy stovky a stovky. Přístroj shodného typu byl používán i jinými podniky, např. Spolanou Neratovice.





V roce 1989 došlo ke kvalitativní změně. Byl objednán nový přístroj u firmy VETCO, tentokrát Probolog VS203. Firma však nebyla schopna přístroj dokončit v provozuschopném stavu a tak nakonec přístroj skončil v popelnici a VETCO do bedny s vybavením do prostoru vložila zcela jiný přístroj. Útvarek KDSE tak získal přístroj Rohmann Elotest B1 a krátce po něm zakoupil i přístroj MC4 stejného výrobce. Oba přístroje, a především B1, jsou přístroje, které i dnes v mnoha ohledech ob stojí ve srovnání

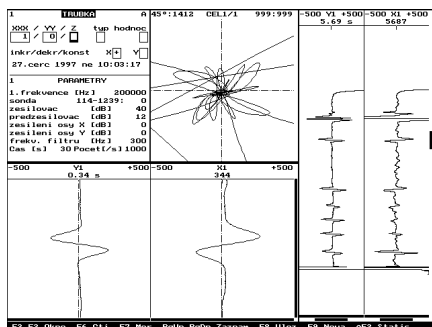
s moderními jednoduchými zařízeními, minimálně v poměrně slušné spolehlivosti a jednoduchosti, obecně jsou ale samozřejmě za zenitem, tak jako porovnání Škody Favorit a Škody Fabie. Obě dojedou, otázkou je jak.

Přístroj B1 je jednofrekvenční přístroj s integrovanou obrazovkou. Zde sluší poznamenat to, co nebylo výše zdůrazněno – přístroje Probolog žádnou obrazovku neměly a tudíž při nastavování se muselo vše zapisovat na termopapírovou pásku a zde to měřit případně pravítkem (papíry byly sice s rastrem v cm a mm, ale pravítko bylo důležitým „výpočetním“ instrumentem). Přístroj již umožňoval komfortní a relativně snadné nastavování, byl jednofrekvenční, frekvence se nastavovala v širokém rozsahu, bylo možné různé zesílení v osách x a y, a z výstupu přístroje bylo možné na zapisovač (a později do PC) přivést velikost signálu v jednotlivých osách. Přístroj MC4 byl dokonce dvoufrekvencí s možností mixu vybavený obrazovkou. Na výstupu bylo možné získat signály ze všech frekvencí i mixu. Funkčnost přístroje byla podobná jako u u B1. U obou přístrojů byl prováděn v počátcích záznam na papírovou termopásku.



V roce 1993 společnost TEDIKO vyvinula vlastní software, který se stal základem dodnes používaného softwaru při kontrole výměníků vířivými proudy. Postupně se obměňoval přístrojový park o přístroje dalších výrobců a veškeré záznamy od roku 1993 jsou digitální podobě a archivovány. Oba dva výše jmenované přístroje a ukázka záznamu jsou ukázkou na následujících obrázcích.

Kromě výše uvedených zařízení se v Československu postupně objevily i další přístroje a to německé firmy Förster a firmy Zetec ze Spojených států. Například Förster byl používán v chemickém průmyslu, přístroje Zetec byly používány pro kontroly trubek parogenerátorů v jaderných elektrárnách.



Později se v provozním zkoušení objevily i přístroje dalších výrobců jako Hocking (dnes GE), R/D-Tech (dnes Olympus) a dalších. Společnost Tediko za svoji historii má zkušenosti především s přístroji Soriel, Vetco, Rohmann, T.M.T., Hocking, GE, R/D-Tech a Olympus, po určitou dobu ale používala v devadesátých letech i přístroje Förster a Zetec (například MIZ40), kromě jiného proběhla také i funkční měření přístrojem firmy Russel. Na trhu byly a jsou i další přístroje, včetně ve formě přístrojových počítačových karet, avšak pro provozní zkoušení v rámci chemických provozů, rafinérií, energetických provozů nepředstavují v České republice v dané době zásadní směr.

Téměř vše zatím uvedené se týká měření trubek vyrobených z nemagnetických materiálů. Začátkem devadesátých let jsme v souvislosti s výstavbou JE Temelín a některými aktivitami v chemickém průmyslu cítili, že je potřeba se věnovat i trubkám z magnetických materiálů – tedy zcela klasickým konstrukčním ocelím a také v té době již pomalu se prosazujícím obojetníkům – trubkám duplexním neboli dvoufázovým ocelím, chcete-li.

Zkoušení těchto trubek v sobě skýtá problémy. Jedinci, kteří v té době vykládali o bezproblémovosti zkoušení, se hluboce mýlili a pokud se i dnes najdou jedinci bagatelizující tuto problematiku a schopní vyzkoušet cokoliv, kdekoliv a jakkoliv, se hluboce mýlí a mýlili. Touto problematikou jsme se začali zabývat již v roce 2002 a téměř deset let trvalo, než jsme se dopracovali ke skutečně uspokojivým výsledkům a našli způsob, jak v mnoha případech měření relevantně provést. Tím vůbec není řečeno, že TEDIKO vyvíjelo nějakou techniku či vymýšlelo něco „světoborného“. Vůbec ne. Pouze se



na trhu začala objevovat zařízení, a to postupně od všech významnějších výrobců, která byla určena pro zkoušení trubek z uhlíkových ocelí, a všichni prezentovali, že to jejich zařízení je nejlepší, nejschopnější, prostě nej. Také směry, kterým se jednotlivý výrobci vydali, nebyli zcela shodné. Patří dík firmě Russel, která za pomoci společnosti TSI předvedla svoje zařízení na bázi vzdáleného pole

vířivých proudů (i když systém nebylo v té době u nás možné aplikovat), což se nakonec ukázalo jako směr určující.

Mírně jednodušší byla situace v oblasti zkoušení duplexních ocelí, kde nakonec byla do systému našeho měření jistá nástavba T.M.T. a začaly být používány sondy s magnetickým sycením (magnetic bias) s permanentními magnety. Tento způsob ale není zrovna vhodný pro zkoušení běžných uhlíkových ocelí a i v případě kontroly duplexních ocelí je nutné dodržovat určitá pravidla.

Pro zkoušení metodami MFL (čili magnetickými rozptylovými toky) byly jinými subjekty používány zahraniční přístroje, avšak aplikace nebyly používány ve všech případech na vhodném místě. Ale o tom až dále.

Pokud se týká vzdáleného pole vířivých proudů neboli RFT (repote field testing, nebo též RFEC – repote field eddy current) jsme měli postupně možnost otestovat několik přístrojů v různých fázích vývoje metody. Nakonec pro nás zvítězil produkt daný na trh společnostmi R/D-Tech / Olympus /Zetec mající základ v dnes již neexistující vysoce inovativní společnosti R/D-Tech.

4. Vady teplosměnných trubek

Tak jako je různorodá konstrukce výměníků, různorodé jsou materiály, různorodost vlivu prostředí a provozních parametrů, tak různorodé jsou i vady, kterými jsou teplosměnné trubky postiženy. Trubky jsou poškozovány buď místně v závislosti na místních konkrétních poměrech nebo globálně. Obecně lze říci, že záleží na kombinaci, kterou tvoří následující vstupní položky :

- materiál trubek a způsob jejich výroby (tažené, válcované, podélně svařované,...)
- kombinace použitých materiálů (trubky x trubkovnice x přepážky x)
- způsob uchycení trubek v trubkovnici (zaválcované, zavařeně,...)
- médium v mezitrubkovém prostoru a v trubkách (jeho složení a znečištění včetně mikrobiologického)
- teplota a proudění média

Základní příčiny a z nich plynoucí druhy poškozování jsou na obrázcích na následující straně.

Klasickým globálním poškozováním je vliv chemického složení a teploty média vedoucí např. k vnitřnímu koroznímu poškozování mosazných trubek v kondenzátorech páry. Klasickým místním poškozováním jsou např. trhliny v místě zaválcování trubek v trubkovnici nebo v místech kolísání hladiny média, lokální úbrusy trubek způsobené kmitáním trubek díky nevhodnému proudění páry.

Vady však nevznikají pouze provozováním. Mnoho vad pochází z výroby a montáže a je velmi důležité odlišit, zda vada vznikla a šířila se během provozu. Některé vady z výroby totiž mohou po celou dobu zůstat neměnné a nesnižují výrazně životnost zařízení. Na druhou stranu jiné vady z výroby mohou vést k relativně rychlé ztrátě těsnosti.

Shrneme-li tedy vše výše popsané, dostaneme toto základní rozdělení :

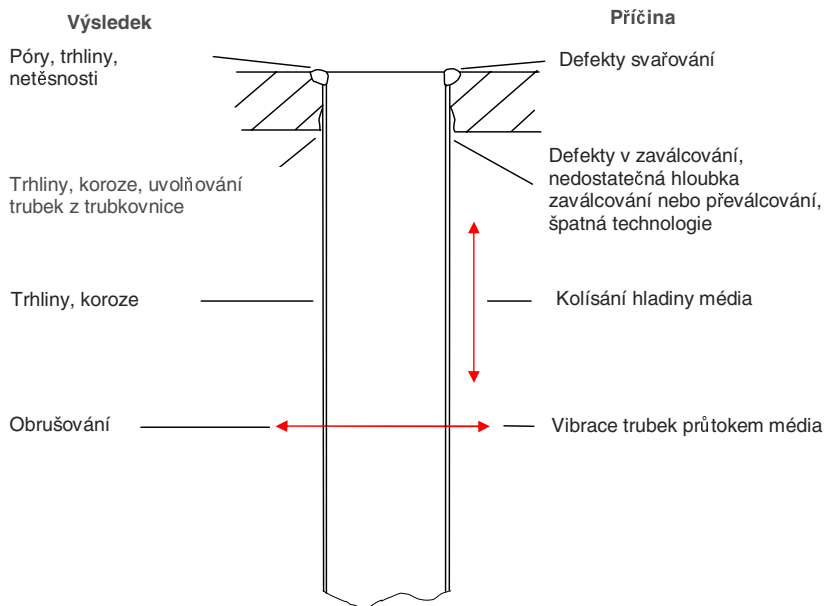
- vady z výroby a montáže (např. neprůvody u podélně svařovaných trubek) **x**
- vady vzniklé a šířící se za provozu
- vady iniciované z vnějšího povrchu **x** vady iniciované z vnitřního povrchu
- vady v místě zaválcování trubek v trubkovnici **x** vady pod přepážkami **x**
- vady na volných částech trubky
- vady způsobené kmitáním trubek vzájemně o sebe **x** kmitáním v přepážkách

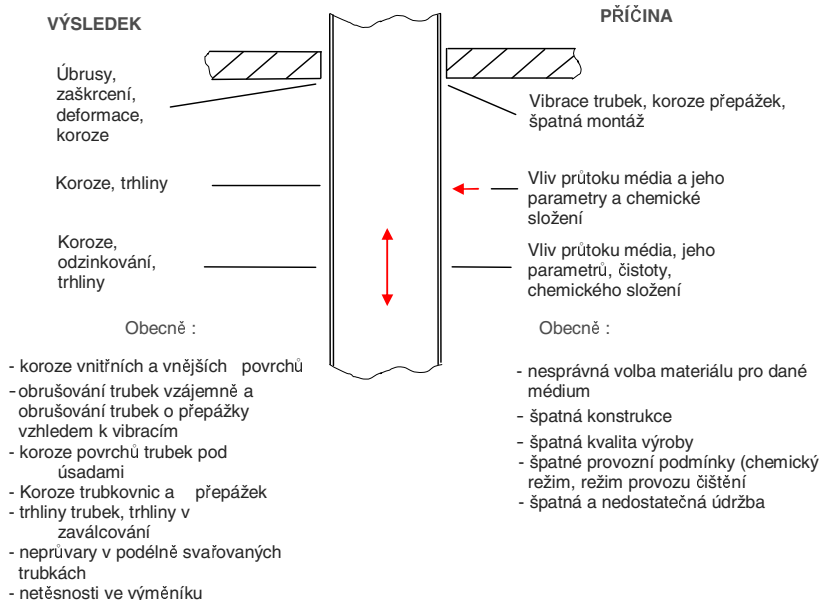
- mechanická poškození trubek **x** korozní či erozní poškození trubek
- vady ve formě korozních důlků (u některých mosazí vyplněných amorní mědí) **x** plošná koroze **x** mezikrystalová koroze
- vady ve formě důlků (např. důlková koroze) **x** trhliny (jak původu korozního tak mechanického)

Kromě toho se při kontrole může vyskytovat množství dalších „vad“ z pohledu zjišťovaných indikací, které však vadami ve skutečnosti nejsou – feromagnetické částice pevně lpící na povrchu trubky případně volné obsažené v úsadách a nečistotách, oblast nějakým způsobem tepelně ovlivněná při výrobě se změněnou strukturou apod. Ty jsou potom zdrojem falešných indikací, v mnoha případech se tvářících jako vady. Dále jsou to různá tzv. naražení, neboli místa, kde je na trubce vrub, zub apod. Ta se dají odlišit dobře avšak v takto mechanicky poškozených místech občas vznikají trhliny a výsledná indikace je tedy superpozicí dvou vlivů ovlivňujících pole.

5. Volba metody kontroly

Jak již bylo řečeno, teplosměnné trubky jsou vyráběny z různých materiálů a různým způsobem, mají i různé provedení. Stejně tak je k dispozici několik způsobů kontroly a to nejenom zde popisovaných, kromě elektromagnetických metod také kontrola ultrazvukem, vizuální kontrola přímá a nepřímá.





Základní přehled zde popisovaných metod kontroly je v následující tabulce :

Metoda	Název	
ET	Eddy current testing	Kontrola vířivými proudy
ET MB	Eddy current testing – Magnetic Bias	Kontrola vířivými proudy s magnetickým sycením
RFT	Remote field testing	Kontrola ve vzdáleném poli vířivých proudů
NFT	Near field testing	Kontrola v blízkém poli vířivých proudů
MFL	Magnet flux leakage	Kontrola magnetickými rozptylovými toky

Použití těchto metod pro jednotlivé druhy materiálů popisuje další tabulka :

Metoda		Příklad
ET	nemagnetické materiály	austenitická ocel, titan, mosaz, mědinikl, měď,
ET MB	magnetické materiály	duplexní ocel
RFT	magnetické materiály	uhlíkové oceli
NFT	magnetické materiály	uhlíkové oceli
MFL	magnetické materiály	uhlíkové oceli

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že pro zkoušení máme na výběr více možností a v některých případech, jako u magnetických materiálů, je zcela jedno, kterou z nich zvolíme. Ale není tomu tak. Každá z těchto metod má svá omezení a také vypovídací schopnosti. Základními informacemi, které umožňují vyhodnotit indikaci získanou od vady v materiálu, jsou fáze a amplituda. Fázové rozlišení však bohužel v některých případech není k dispozici a hodnocení je možné provádět pouze na základě amplitudy, což může být velice zavádějící.

V další tabulce je uveden přehled a zároveň rozdíl v relativních rychlostech zkoušení (zkoušení vířivými proudy představuje základní-maximální rychlost) pro základní představu co je a není možné :

Metoda	Fáze	Amplituda	Rychlost zkoušení
ET	Ano	Ano	1
ET MB	Ne *)	Ano	< 1
RFT	Ano	Ano	<< 1
NFT	Ne *)	Ano	<<< 1
MFL	Ne	Ano	< 1

*) v těchto případech je obtížné mluvit o fázovém rozlišení

Z výše uvedené tabulky vyplývá, že některé metody nejsou nejvhodnější, vzhledem k tomu, že chybí důležitá informace – fáze. Proč se tedy používají. To vyplývá z poslední rozlišovací tabulky :

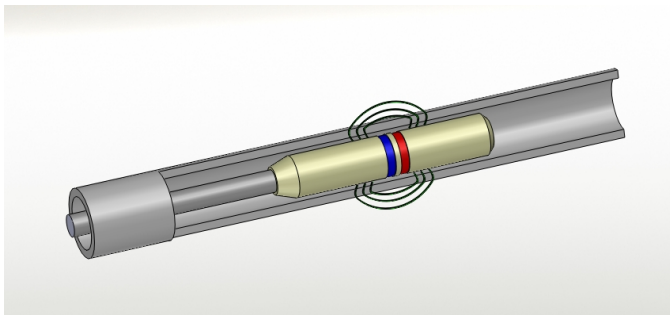
Metoda	Lze kontrolovat	Nelze
ET	v podstatě libovolnou konfiguraci, trubky s žebry i bez žeber, ohyby s rozumnými průměry oblouku	magnetické materiály
ET MB	trubky s duplexních ocelí	běžné magnetické materiály (jde o to, že je obtížné zkonstruovat dostatečně malou sondu s velkým sycením pro dané tloušťky)
RFT	feromagnetické materiály, trubky bez žeber, v podstatě nelze oblouky	trubky s žebry či přepážkami příliš blízko u sebe, vady v trubkovnici, malé vady přímo pod přepážkami
NFT	feromagnetické materiály, trubky s žebry, nelze oblouky	
MFL	feromagnetické materiály, trubky s žebry či přepážkami blízko u sebe, v podstatě nelze oblouky	trubky s větší tloušťkou stěny

Na závěr několik příkladů pro ilustraci. Máme-li například klasický kondenzátor páry (případně variantu základního ohříváku apod.), které jsou téměř vždy z trubek z nemagnetických materiálů, pak jistě použitou metodou kontroly bude metoda vířivých proudů. V případě běžných výměníků z uhlíkové oceli většinou použijeme metodu RFT, v případě, že přepážky budou blíže u sebe metodu MFL

V případě vzduchových chladičů většinou vyrobených z uhlíkových ocelí s přidanými žebry je k dispozici MFL příp. NFT.

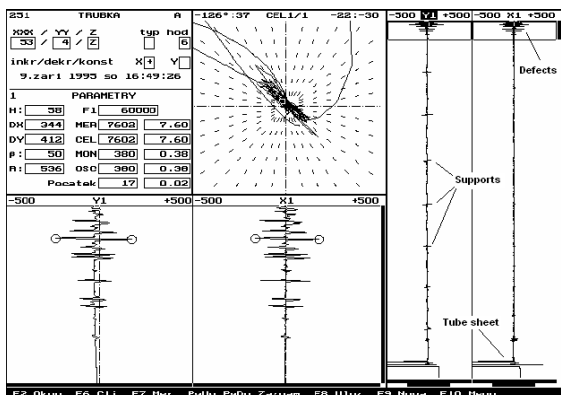
6. Principy

Konvenční vířivé proudy používané ke kontrole nemagnetických materiálů lze použít i pro kontrolu žebrovaných trubek, rychlost pohybu zkušební sondy je až 2 m/s, i když většinou se používá rychlost kolem 1 m/s. V přepravech i provozních zkouškách se většinou používá diferenční mód, tímto způsobem jsou zjišťovány vady typu pittingu a trhlin. V případě zjišťování dlouhých vad např. typu úbytku tloušťky stěny se používá absolutní mód. Pro eliminaci nežádoucích signálů se používá mixování signálů. Na následujícím obrázku je typická neohebná sonda vířivých proudů.



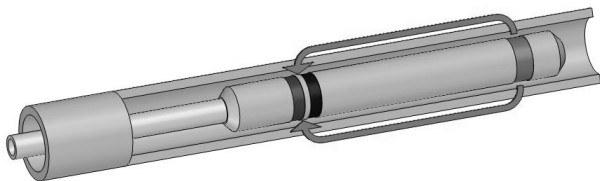
Pro měření je nejdůležitější volba správné frekvence, správný kalibrační standard vyrobený ze stejného materiálu a rozměrů, se stejnými fyzikálními a dalšími vlastnostmi. Dále je nutné zvolit správnou sondu co největším zaplněním).

Před mnoha lety jsme z těchto důvodů vytvořili charakteristiky závislosti fáze a amplitudy na frekvenci pro jednotlivé materiály a různé vady. Tyto charakteristiky jsou velmi užitečné k pochopení změn fáze indikací různých vad v závislosti na frekvenci. Fáze charakterizuje hloubku vady a je nejdůležitějším parametrem vzhledem k tomu, že fáze signálu závisí na této hloubce. Z hlediska zkušebních standardů není nutné vždy používat standardy dané normami jako je např. ASTM (ASME). Pro posuzování korozního napadení je v mnoha případech používat vyjiskřené vady a to i z vnitřního povrchu. Na následujícím obrázku je typický záznam z měření.

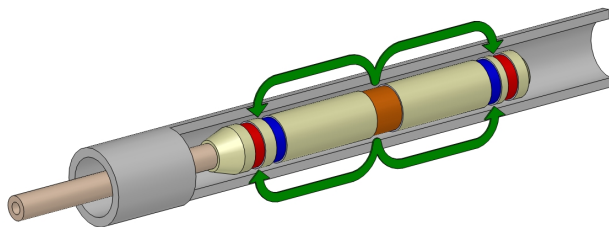


Technika zkoušení pomocí vzdáleného pole je průchozí technikou. Detekuje se pouze pole, které zcela proniká stěnou trubky. Tato nepřímá vazební dráha spojuje budič a snímač, které jsou uvnitř trubky ve vhodně zkonstruované sondě. Vyhodnocení obvykle využívá napětovou rovinu polárního grafu vektoru pronikajícího pole, aby se tím ohodnotily vlastnosti indikace defektu.

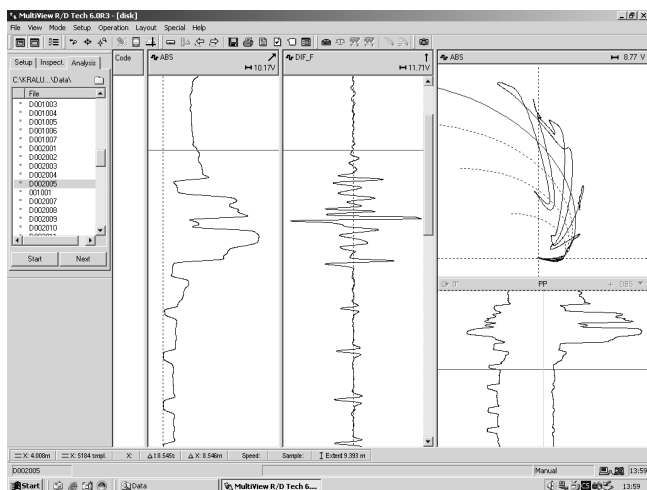
Frekvence se volí dostatečně nízká tak, aby obvodové vířivé proudy umožnily pronikat budícímu poli axiálně i radiálně od budiče. Až dosáhne pole vnějšku trubky, pohybuje se pak relativně bez překážek pryč od čela budiče a v případě ocelových trubek má sklon se šířit oběma směry po vnější straně trubky. Část tohoto vnějšího pole se šíří zpět stěnou trubky dovnitř a uzavírá tzv. nepřímou vazební dráhu. Ve vzdálenosti asi dvou či více průměrů trubky od budiče tak může být uvnitř trubky detekováno vzdálené pole, které prošlo dvakrát stěnou trubky a je ještě stíněno před přímou vazbou budícího pole na vnitřním povrchu trubky. Toto vzdálené pole je citlivé na vady, které se nacházejí v nepřímé vazební dráze ve stěně trubky. Vířivé proudy působící proti průchodu pole stěnou způsobují útlum a zpoždění. Plná tloušťka stěny způsobuje maximální útlum a maximální časovou prodlevu. Jakékoli defekty nebo porušení ve stěně trubky nebo kdekoli jinde v dráze šířícího se pole (např. úbytek materiálu), poruší a zdeformují tyto původní dráhy vířivých proudů. Defekty se tedy v oblasti vzdáleného pole projeví zmenšeným útlumem a kratší časovou prodlevou.



Na předchozím obrázku je sonda v tzv. provedení singl. Kromě toho se používají i sondy v provedení dual. Na rozdíl od sond vířivých proudů však sondy RFT neobsahují pouze jeden obvyklý diferenční snímač, ale dva až tři cívkové systémy - budící cívku a jeden až dva detektory umístěné ve vzdálenosti větší než dva průměry trubky od budící cívky. Případně existuje i varianta dual sondy, která má dvě budící cívky a jeden detektor.



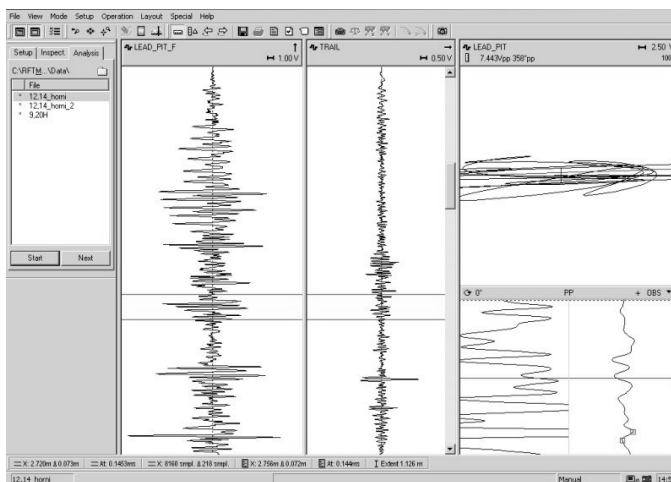
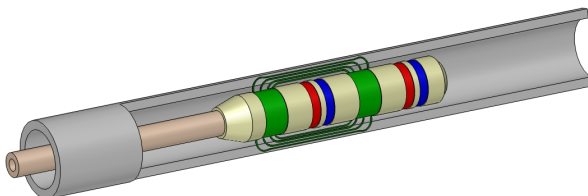
Pro zobrazení se používá tzv. napětíová polární podobná impedanční rovině používané při běžném měření vířivými proudy, není však mezi nimi vztah. V této rovině je zobrazena tzv. útlumová spirála založená na rovnici hloubky vniku. Tato útlumová spirála je prakticky stopa špičky vektoru budícího pole, když prochází napříč nepřímou vazební dráhou. Amplituda je rychle exponenciálně tlumena spolu s rostoucím fázovým zpožděním. Fázové zpoždění je úměrné tloušťce stěny, kterou pole prochází. Každé tloušťce stěny přísluší na útlumové spirále bod daný zpožděním a amplitudou. Zjednodušeně polovina fázového zpoždění nastává ve stěně trubky blízko budiče a zbývající polovina ve stěně blízko detektoru. Při kontrole trubky bez vad bude vektor pole, zaznamenávaný snímačem, většinu času v pracovním bodě plně tloušťky, který odpovídá maximálnímu útlumu a fázovému zpoždění. Vektor vady však bude mít zmenšené fázové zpoždění (pootočeno na útlumové spirále proti směru hodinových ručiček) přímo úměrné zmenšení tloušťky stěny a k tomu i odpovídající zvětšenou amplitudu. Platí tedy, že čím větší vada (jak hlubší tak rozsahem po obvodu), tím vektor vady vykazuje menší fázové zpoždění a menší útlum. Na následujícím obrázku je typický záznam z měření metodou RFT.



Kontrola trubek z vodivého materiálu pomocí techniky vzdáleného pole je v podstatě kontrolou metodou vířivých proudů neboli metodou elektromagnetickou. Trubkou se též protahuje sonda vypadající vnějškově jako klasická sonda vířivých proudů. Měřicí sondy používané pro RFT také umožňují zapojením snímačů jak absolutní tak diferenční hodnocení. Výrazným rozdílem je rychlost zkoušení, protože ta je podstatně menší. Je to především z toho důvodu, že absolutní kanál slouží k hodnocení větších a plošných vad a diferenční kanál drobnějších menších vad typu důlků. A zde při větší rychlosti výrazně klesá zjištělost těchto vad.

Technika zkoušení pomocí magnetických rozptylových toků je založena na principu vlivu vad na magnetické pole. Tato metoda zkoušení je tedy omezena pouze na zkoušení feromagnetických materiálů. Vzhledem k principu není závislá na tom, zda trubky mají z vnější strany žebra či nikoliv, ani není závislá na počtu přepážek ve výměníku. Sonda obsahuje silné magnety, které vytvářejí magnetické pole. Pokud

se vada dostane mezi magnety, vytváří se na vadě rozptylové toky vystupující nad povrch, které jsou snímány cívkami umístěnými mezi magnety. Tzv. vlečný detektor na konci sondy slouží k detekování zbytkového magnetismu. Na následujících obrázcích je typická sonda MFL a příklad záznamu.

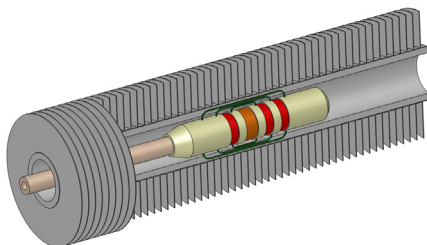


Tato metoda je velmi citlivá na vady typu pitting, příčné trhliny a úbytky stěny. Inspekční rychlost je v podstatě srovnatelná s vířivými proudy, tzn. kolem 1 m/s. Signál je ale citlivý na změnách rychlosti, proto je nutné při zkoušení dodržovat stále konstantní rychlost. Problémem metody je, že hodnocení je možné pouze na základě amplitudy. A to není nej přesnější způsob, protože vady různého druhu různé hluboké se „tváří“ stejně, amplituda je ovlivňována jak hloubkou vady tak její velikostí a navíc i rychlostí pohybu sondy. Ze zde uváděných metod je metodou, již by se nikdy neměla dávat přednost, pokud existuje možnost zkoušení pomocí RFT. Zkušenosti nás vedou k závěru, že kontroly provedené v minulosti metodou MFL a které nereflektovaly na specifiku metody a naše společnost prováděla další provozní měření metodou RFT či MFL, nebyli jsme v mnoha případech schopni potvrdit výsledky předchozích měření, které byly většinou nadsazené. Bohužel ale např. ale

v případě zkoušení vzduchových chladičů s žebry ale jiné možnosti než MFL (případně NFT) není.

Metoda zkoušení v blízkém poli je poslední zde diskutovanou metodou. Je z nich nejnovější a je vhodná k použití tam, kde ostatní jsou nepoužitelné. Metoda MFL má totiž problémy v případě větších tloušťek stěn (ale to konečně mají všechny metody), metoda RFT má problémy s žebry. Zde je tedy ožná náhrada, která má však v daném okamžiku ten problém, že hodnocení je též především amplitudové a rychlost zkoušení je nejmenší ze všech používaných metod. Se sondami tohoto typu jsme zatím provedli několik zkušebních měření a hledáme operační okno pro jejich použití. Proto zatím nelze publikovat žádné větší informace z běžného „každodenního“ používání.

Na následujícím obrázku je ukázána typická sonda NFT.



7. Závěr

Uvedené metody slouží k předprovoznímu a především provoznímu zkoušení trubek tepelných výměníků. V energetice, teplárenství, chemickém průmyslu, rafinériích, potravinářském průmyslu atd. Toto zkoušení ale není dobré chápat ve smyslu „změřím a zapomenu“. Provozní diagnostika má určovat i trend a rychlost poškozování zařízení. Proto jedno samotné měření může ukázat maximálně okamžitý stav, tzn. výsledkem mohou být okamžitá či následná nápravná opatření. Například v případě, že zařízení vykazuje vady, které by způsobily nebo dokonce již způsobují netěsnost, zaslepení trubek. Výsledkem měření by ale také mělo být, jak dlouho je možné ještě výměník provozovat, kdy přistoupit k celkové výměně atd.

Naše společnost kontroluje ročně sto až dvě stě výměníků ročně a to od malých výměníků po velké kondenzátory s tisíci (někdy desítkami) trubek. Ročně to činí v průměru více než 150 tisíc jednotlivých kusů trubek. Podle provozovatele se měření provádí buď z důvodů dlouhodobého sledování stavu zařízení, z důvodu okamžitých nápravných opatření po zjištění netěsnosti, z důvodu zvýšení životnosti výměnou pouze částí trubek (poškozených), z důvodu analýz založených na odhadu rizika (RBI – Risk Based Inspection). Je nutné brát v úvahu, že následky poruchy mohou být nejenom ekonomické, mohou vést i k zásadnímu poškození životního prostředí a v nejhorším případě i k poškození zdraví případně i mohou vést k celkové havárii zařízení jehož jsou součástí – například v jaderné energetice či chemickém/rafinérském průmyslu.

Součástí měření nejsou v mnoha případech pouze kontroly elektromagnetickými metodami, ale i posouzení výměníku z hlediska korozního stavu (včetně jeho konstrukčních částí), tedy vizuální kontrola přímá a nepřímá pomocí videoendoskopů, ověřování ultrazvukem případně radiograficky, zkoušení těsnosti atd. Výstupem je

potom nejenom kompletní hodnocení všech trubek a jejich rozdělení do kategorií podle poškození ale i celkové zhodnocení a doporučení k zaslepení trubek, k dalším kontrolám, výměně výměníku.

Kontroly teplosměnných trubek se z tohoto pohledu jeví jako velmi důležitá součást nedestruktivního testování ač při srovnání s ostatními metodami nezaujímá na trhu takový objem činností.

Reference

- | | |
|-----------------------------------|---|
| Jiří Skotnica, Miloslav Procházka | Zkoušení trubek z magnetických materiálů s využitím vzdáleného pole vířivých proudů, Konference ČNDT Defektoskopie 1996 |
| Jiří Skotnica, Miloslav Procházka | Posouzení způsobu kontroly teplosměnných trubek vyrobených z dvoufázových ocelí metodami RFEC a metodou s magnetickým sycením, Konference ČNDT Defektoskopie 1997 |
| Miloslav Procházka | Vady trubek tepelných výměníků a jejich zkoušení, Konference ČNDT Defektoskopie 2001 |
| Miloslav Procházka, Roman Beneš | Technika zkoušení ve vzdáleném poli, Konference ČNDT Defektoskopie 2004 |
| Miloslav Procházka | The Methodologies of Heat Exchanger NDT Kontrol, EFC Praha 2004 |