

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta  
Katedra materiálu a strojírenské technologie

# **Nedestruktivní zkoušky materiálu**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Martin Khun

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Khun Martin

Silniční a městská automobilová doprava

### Název práce

Nedestruktivní zkoušky materiálu

### Anglický název

Nondestructive tests of material

---

### Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o nedestruktivních zkouškách materiálu

### Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše), závěry a přínos práce.

### Osnova práce

1. Úvod
2. Podstata, výhody a nevýhody nedestruktivních zkoušek
3. Trendy nedestruktivních zkoušek
4. Závěr

**Rozsah textové části**

30

**Klíčová slova**

Materiál, zkoušky, vzorky

**Doporučené zdroje informací**

BROŽEK, M.: Strojírenská technologie – návody na cvičení, Praha, Editpress, s.r.o., 1998, 72 s.

FAKTOROVÁ, D.: Utilization of microwaves in material defect investigation, Acta Technica CSAV, 2010. Vol. 53, No. 1 (2008), s. 17-27.

HÁJEK, K., ŠIKULA, J.: A New Highly Sensitive Variant of Nonlinear Ultrasound Spectroscopy for Non-destructive Testing, Advances in Military Technology 2010. Vol. 4, Issue 1 (June 2009), s. 15-22.

JILES, C. D.: Introduction to the principles of materials evaluation, Boca Raton, CRC Press, 2008, 280 s.

KOPEC, B. a kol.: Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, Brno, Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s.

KOŘENSKÁ, M., MANYCHOVÁ, M.: New possibilities of non-destructive testing of ceramic specimen integrity, Ceramics-Silikáty, 2010. Vol. 54, Issue 1 (march 2010), s. 72-77.

KUNDU, T.: Ultrasonic nondestructive evaluation: engineering and biological material characterization, Boca Raton, CRC Press, 2004, 832 s.

**Vedoucí práce**

Hrabě Petr, Ing., Ph.D.

**Termín zadání**

listopad 2010

**Termín odevzdání**

duben 2012



Vedoucí katedry



V Praze dne 31.1.2011



Děkan fakulty

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Podpis:.....

**Abstrakt:** V této práci jsou nastíněny nejdůležitější a nejčastější metody z velkého vědního oboru jménem defektoskopie. Jejich součástí jsou jak metody ověřené desetiletím zkoušení, tak metody u kterých se počítá s masovým využitím v budoucnosti. Je zde popsána podstata zkoušek, průběh zkoušení. Výhody či nevýhody zkoušek jsou popsány v textu u jednotlivých kapitol. Ve třetí kapitole jsou obecné informace o trendech v nedestruktivním zkoušení materiálů.

**Klíčová slova:** materiál, zkoušky, vzorky

### **Nondestructive tests of material**

**Summary:** This work presents the most important and the most frequent methods of great discipline called defectoscopy. Defectoscopy contains methods proved during the long decades, as well methods intended for the future times. Substance and course of testings are described here. Advantages and handicaps of the testings are described inside the single chapters. General informations about trends in nondestructive methods of material testings are described in the third chapter.

**Key words:** material, test, samples

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Hraběti, Ph.D. za cenné rady,  
připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Podstata, výhody a nevýhody nedestruktivních zkoušek.....	2
2.1	Základní rozdělení klasických nedestruktivních metod.....	2
2.2	Vybrané kapitoly z historie nedestruktivního zkoušení.....	2
2.2.1	Zkoušení kapilární metodou .....	2
2.2.2	Zkoušení magnetickou metodou práškovou .....	3
2.2.3	Zkoušení vířivými proudy .....	3
2.2.4	Zkoušení ultrazvukem .....	4
2.2.5	Zkoušení prozařováním .....	4
2.2.6	Zkoušení akustickou emisí .....	5
2.3	Kapilární metody .....	5
2.3.1	Princip kapilárních metod.....	6
2.3.2	Použitelnost kapilární metody .....	6
2.3.3	Teoretické základy kapilární metody .....	6
2.3.4	Rozdělení.....	6
2.3.5	Rozdělení kapilárních prostředků.....	6
2.3.6	Pracovní postup .....	9
2.3.7	Citlivost kapilárních metod .....	10
2.4	Metoda rozptylových toků .....	11
2.4.1	Princip metody.....	11
2.4.2	Použitelnost metody .....	11
2.4.3	Teoretické základy.....	11
2.4.4	Faktory ovlivňující rozptylové pole nad necelistvostí.....	12
2.4.5	Způsoby magnetizace .....	12

2.4.6	Druhy magnetizačního proudů .....	13
2.4.7	Detekční prostředky.....	14
2.4.8	Odmagnetování.....	15
2.5	Metoda vířivých proudů.....	15
2.5.1	Princip metody vířivých proudů .....	15
2.5.2	Použitelnost vířivých proudů.....	16
2.5.3	Teorie vířivých proudů .....	16
2.5.4	Metody zkoušení .....	16
2.5.5	Konstrukce snímačů .....	17
2.6	Vizuální metody.....	18
2.6.1	Rozdělení vizuálních metod .....	18
2.6.2	Endoskopy .....	18
2.7	Zkoušky ultrazvukem .....	19
2.7.1	Použitelnost .....	19
2.7.2	Teoretické základy metody.....	20
2.7.3	Ultrazvukové sondy.....	20
2.7.4	Metody zkoušení .....	21
2.7.5	Faktory ovlivňující zkoušku .....	23
2.8	Prozařování .....	23
2.8.1	Princip metody.....	23
2.8.2	Druhy záření .....	24
2.8.3	Zdroje ionizujícího záření.....	24
2.8.4	Způsoby registrace záření.....	25
2.9	Metoda akustické emise.....	25
3	Trendy nedestruktivního testování.....	27
3.1	Moderní trendy v rozptylových tocích.....	27



3.1.1	Magnetizace metodou Quick-Break .....	27
3.2	Moderní trendy zkoušení pomocí vířivých proudů.....	28
3.2.1	Multifrekvenční metody kontroly.....	28
3.2.2	Metoda zkoušení vzdáleným polem vířivých proudů .....	28
3.3	Moderní trendy zkoušení ultrazvukem .....	28
3.3.1	Technika Phased array.....	28
3.3.2	Technika TOFD.....	29
3.4	Moderní trendy v používání prozařování.....	30
3.4.1	Počítačová rentgenová tomografie .....	30
4	Závěr .....	31
	Literatura: .....	32
	Seznam obrázků:.....	34

# 1 Úvod

Nedestruktivní zkoušení materiálů je diagnostická metoda, která se používá ke kontrole polotovarů, výrobků, tak ke kontrole součástí pracujících dlouhou dobu v provozu. Rozhoduje o prodloužení či zkrácení intervalu výměny a tím umožňuje ekonomické a časové úspory, které v době hospodářské recese a konkurence na trhu rozhodují o přežití podniku.

Nedestruktivní zkoušení materiálů zajišťuje pro společnost nejen ekonomické výhody, ale zabraňuje tragickým nehodám v letectví, na železnicích a v jiných oborech lidské činnosti. Ne vždy si člověk uvědomí, jak nedestruktivní zkoušení materiálů ochraňuje jeho zdraví. Jako příklad lze uvést kontrolu lan lyžařských vleků, výtahů, mostů či kontrola sportovního náčiní.

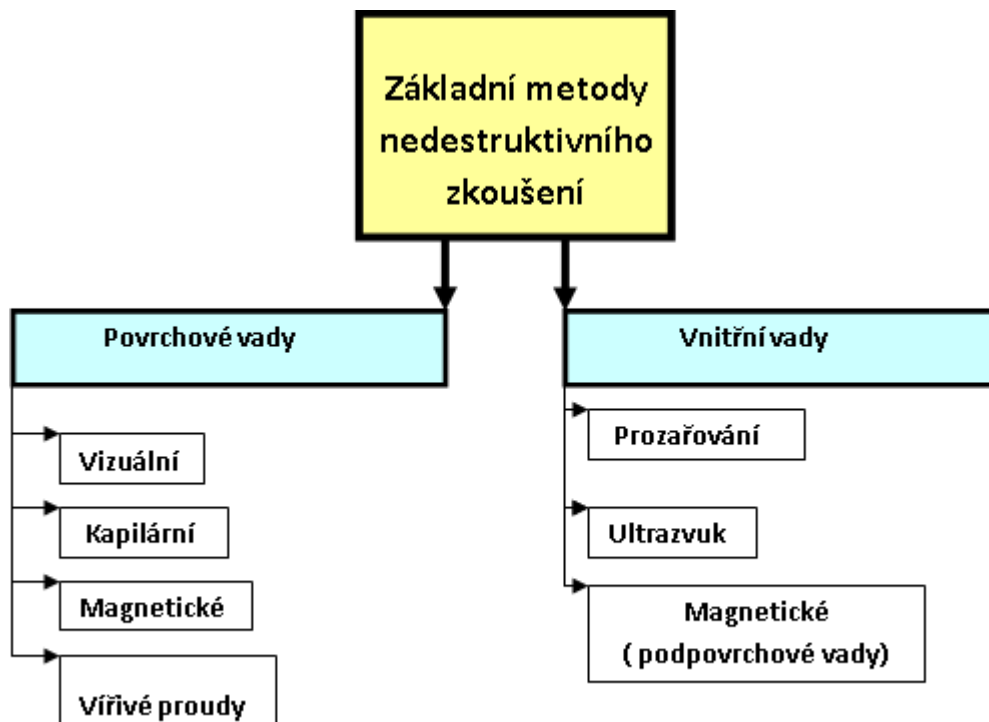
Obecně lze nedestruktivní zkoušení materiálů rozdělit na kontrolu výrobků na povrchové, podpovrchové a vnitřní vady bez porušení či znehodnocení samotného výrobku. Existuje nespočet defektoskopických metod a postupů. Ne vždy stačí k posouzení o shodnosti či neshodnosti výrobku jediná metoda. Pro správné posouzení musí být zaručeno prolínání metod k definitivnímu, jednoznačnému a správnému rozhodnutí.

Nedestruktivnímu testování materiálů položili základy velké osobnosti své doby jako např. Sir Newton, Maxwell, Faraday, Foucault, Rentgen, Sokolov a další. Další pokroky přicházely souběžně s vývojem elektrotechniky, miniaturizace, automatizace, statistiky a dalších technických oborů. Tyto vývojové trendy se markantně projeví na snížení hmotnosti defektoskopických přístrojů a na jejich kvalitnějším zobrazení.

## 2 Podstata, výhody a nevýhody nedestruktivních zkoušek

V této kapitole jsou probrány jednotlivé nedestruktivní metody, jejich podstata a výhody či nevýhody.

### 2.1 Základní rozdělení klasických nedestruktivních metod



Obr. 2.1.1 Rozdělení klasických nedestruktivních metod podle typu vad

### 2.2 Vybrané kapitoly z historie nedestruktivního zkoušení

Tato kapitola je věnována historii jednotlivých nedestruktivních metod a je zde zachycen jejich vývoj až po současnost.

#### 2.2.1 Zkoušení kapilární metodou

Zkoušení kapilární metodou začalo v druhé polovině 19. Století. Už za císaře Franze Josefa I. se v rozvíjejícím průmyslu tehdejšího Rakousko-Uherska začala používat kontrolní metoda, nazývána petrolejová zkouška. První, kteří použili metodu „petrolej

a bělení“ pro zjišťování trhlin v železničních součástkách, nejsou známi. Metoda byla nahrazována magnetickou metodou práškovou. Těsně před a během druhé světové války rychle rostoucí letecký průmysl používal stále více nemagnetických lehkých kovů, které nemohly být zkoušeny magnetickou metodou práškovou. Tak na sobě nezávisle Magnaflux společně s bratry Switzrovými v USA, Brent Chemicals v Anglii a Klumpf v Německu začali produkci fluorescenčních a barevných detekčních tekutin. [4]

### **2.2.2 Zkoušení magnetickou metodou práškovou**

Myšlenka použití magnetizmu ke zkoušení feromagnetických materiálu je ještě staršího data než technika rentgenování. S prvním pokusem se setkáváme téměř před sto lety, kdy roku 1868 S.M. Saxby navrhl společnosti American Institution of Naval Architect, aby ocel pro hlavně pušek zkoumali magneticky. Skutečné průmyslové užití zavedli Viktor de Forest a Forest Doane po roce 1929. První Evropan, který postavil magnetický defektoskop, pojmenovaný Mataloscopio, byl Ital Giraudi. U zrodu magnetické metody práškové stál Čech Ing. Karásek, Seifertův zástupce v Praze, který vyvinul řadu magnetizačních zařízení pod názvem INKAR, jenž se rozšířily do celého světa. Výrobu těchto zařízení včetně zařízení ultrazvukových převzala firma Laboratorní přístroje v Chotuticích u Kolína. Díky Seifertově organizaci firma využívala know-how Ing. Karáska, který po únorovém komunistickém puči v Československu v roce 1948 emigroval do Brazílie a tam pokračoval s výrobou zařízení pro magnetickou metodu práškovou. S nástupem suché práškové metody, koncem 50. let minulého století vstoupila na trh firma Karl Deutsch v Německu. [1]

### **2.2.3 Zkoušení vířivými proudy**

Zkoušení vířivými proudy má také staré kořeny. Francouz Dominique Arago objevil tento fenomén během první poloviny 19. století. Princip byl pak vysvětlen a pojmenován po Leonu Foucaultovi. Metoda vířivého proudu má své počátky v objevu elektromagnetické indukce Michaelem Faradayem v roce 1831. V roce 1879 další vědec Hughes zaznamenal změny ve vlastnosti cívky, když ji umístil do kontaktu s kovy různé vodivosti a permeability. V roce 1937 při zkoumání magnetických vlastností kovů objevil Friedrich Förster vliv zemského magnetického pole na zkušební cívku v průběhu zkoušení. Poté začal s vývojem vysoce citlivých měřících přístrojů magnetického pole. Roku 1948 založil

svoji firmu Institut Dr. Förster v Reutlingenu v Německu a začal s hledáním cest, jak využít výsledky své vědecké práce, kterých dosáhl v Kaiser–Wilhelmově institutu. V 50. letech 20. století byly položeny vědecké základy elektromagnetických zkušebních metod. [4]

#### **2.2.4 Zkoušení ultrazvukem**

Existence zvukových vln, které lidské ucho neslyší, je známa mnoho let. Již v roce 1794 uvedl italský vědec Lazzaro Spallanzani v knize „Opus coli di fisica” teorii, ve které vysvětluje schopnost netopýrů létat v kostelních věžích za tmy, aniž narazí na překážku. Tato schopnost podle něho nezávisí na zraku, ale záleží na využití dosud neznámých zvukových vibrací, které člověk neslyší. Tuto geniální myšlenku potvrdil svými výzkumy u netopýrů Gallambos (1942) a Griffin (1944) až o 250 let později. V období 1. světové války se stal ultrazvuk především na základě prací Francouze P. Langevina (1916) s detektorem, který užívala britská a francouzská admirálita pod názvem ASDIC (Anti Submarine Detecion Investigation Committee) v boji proti německým ponorkám. Velký zvrat ve využití ultrazvuku přinesly výzkumy ruského vědce Sokolova, který se stal v roce 1929 zakladatelem ultrazvukové defektoskopie. Nejprve zavedl metodu průchodovou a v roce 1934 metodu impulsní odrazovou. První ultrazvukový impulsní defektoskop pro použití v praxi nedestruktivního zkoušení sestrojil v roce 1940 Američan Firestone. [1]

#### **2.2.5 Zkoušení prozařováním**

Koncem 19. století objevil W.C. Röntgen do té doby zcela neznámou možnost prozařování materiálu. Noc z 8. na 9. listopadu 1895 se stala mezníkem fyziky, lékařství i atomistiky. Profesor Röntgen objevil záření X, jak ho tedy původně sám nazval. Na prvním rentgenovém snímku, který zveřejnil, byla ruka jeho choti se zlatým prstýnkem (obr. 2.2.1). Historický piktogram hlavně brokovnice profesora Röntgena se stává prvním snímkem dnešní moderní defektoskopie prozařováním a zahajuje tak pozdější řadu miliónů technických radiogramů. W.P. Dawey se v roce 1915 zabýval zkoušením ocelových odlitků, Tonamy sledoval zjišťování dutin v odlitcích. [4]

Zkoušení zářením bylo také prováděno radioaktivními izotopy. Henri Bequerel objevuje v roce 1896 radioaktivitu uranu. Marie–Curie–Skłodovská a Pierre Curie oznamují objev radioaktivních prvků radia a polonia v roce 1898 a v roce 1900 publikuje

Plank svou kvantovou teorií. Také radioaktivní izotopy byly zpočátku používány v oblasti lékařství. Na zkoušení svařovaných spojů v Německu v roce 1933 použil radioizotopy Rudolf Berthold. Kurt Saurwein v Německu rozšířil výrobu izotopových měničů. [4]



*Obr. 2.2.1 Snímek ruky Berthy Röentgenové, jeden z prvních rentgenových snímků [1]*

### **2.2.6 Zkoušení akustickou emisí**

Metodu akustických emisí (AE) nazýváme metodu detekce akustické emise, následně elektronické zpracování detekovaného signálu AE a konečně též vyhodnocení parametrů detekovaného signálu AE. První systematické práce v této oblasti jsou datovány do 50tých let dvacátého století a jsou spojeny se jménem německého fyzika Josepha Kaisera. Přibližně od 60tých let dvacátého století se tato metoda začíná aplikovat v praxi pro monitorování a detekci celé řady dalších procesů, jež iniciují vznik AE šířící se tělesem. Nejedná se již pouze o detekci AE vyvolané plastickou deformací kovů, ale též o monitorování a identifikaci celé řady jiných procesů, jako porušování materiálů konstrukcí, netěsností a úniků medií pod tlakem, tření, obrábění, sváření, výrobních a technologických procesů. [1]

## **2.3 Kapilární metody**

Kapilární metoda je jednou z nejstarších metod. Svě nenahraditelné uplatnění nachází i v této době, a to u nemagnetických materiálů a kompozitů. Výhodou této metody je jednoduchost a nízké investiční náklady.

### **2.3.1 Princip kapilárních metod**

Kapilární metody jsou založeny na využití charakteristických vlastností fázových rozhraní a jevů, označovaných jako kapilární jevy nebo vlastnosti kapalin.

Vlastní princip kapilární metody spočívá ve využití vztlínivosti a smáčivosti vhodných kapalin (penetrantů), jejich barevnosti nebo fluorescence. Těmito kapalinami se pokrývá zkoušený povrch tak, aby mohly vnikat do nečelistvostí vycházejících na tento povrch. Po odstranění přebytku penetrantů se zkoušeného povrchu (po ukončení penetrace do vad) vztlíná penetrant zbylý ve vadách na povrch a za pomoci kontrastní vývojky vytváří barevnou nebo fluoreskující indikaci vady. Indikace vad se hodnotí vizuálně. [1]

### **2.3.2 Použitelnost kapilární metody**

Kapilární metoda se používá ke zjišťování otevřených povrchových vad na zkoušeném povrchu jako jsou trhliny, přeložky, drážky, póry a studené spoje. Používá se především u kovových materiálů, ale může být použita i u jiných materiálů za předpokladu, že tyto materiály nejsou rozrušovány zkušebními prostředky a nejsou extrémně porézní. Příkladem materiálů, které lze zkoušet, jsou odlitky, výkovky, svarové spoje, keramika apod. [5]

### **2.3.3 Teoretické základy kapilární metody**

Pod názvem kapilární vlastnosti kapalin jsou skryty následující fyzikální jevy, které jsou pro kapilární metodu nejdůležitější – povrchové napětí, krajový úhel, kapilární elevace, kapilární tlak a viskozita.

### **2.3.4 Rozdělení**

Z hlediska druhu vytvořené indikace a způsobu jejího hodnocení rozdělujeme kapilární metody na:

- a) Metodu barevné indikace,
- b) metodu fluorescenční,
- c) metodu dvojúčelovou.

### **2.3.5 Rozdělení kapilárních prostředků**

Kapilární prostředky rozdělujeme na penetranty, vývojky, emulgátory, odmašťovače a čističe.

## **Penetranty**

Jsou nejdůležitější součástí kapilární zkoušky a na jejich vlastnostech záleží výsledek samotné zkoušky.

Penetrandem nazýváme kapalinu, která se nanáší na povrch zkoušeného materiálu, vniká do povrchových necelistvostí, kde setrvává v dostatečném množství i po odstranění jejího přebytku z povrchu. Následným vzlínáním se necelistvosti zviditelňují. [1]

Penetranty jsou složeny z kapalných ropných produktů a organických rozpouštědel. Zpříšňování ekologických aspektů v Evropské unii povede k nahrazování klasických penetrandů olejnatých penetranty na vodné bázi, které vykazují přinejmenším stejné vlastnosti, ne-li lepší.

Penetranty podléhají normám, nejpoužívanější jsou evropská norma EN 571, německá norma DIN 54 a americká vojenská norma MIL-I-25135 E.

### ***Penetranty barevné***

Kromě nejpoužívanějšího červeného penetrandu se používá i modrý penetrant, jeho použití je ale vzácné. Jeho modré zbarvení se používá tam, kde by zbarvení nedosahovalo zřetelného kontrastu mezi červeným penetrandem a barvou zkoušeného předmětu.

### ***Penetranty fluorescenční***

Zviditelňování vad se provádí pod ultrafialovým světlem.

### ***Penetranty dvojúčelové***

Duální prostředek obsahuje luminosfór, který je i barvivem. Velkou výhodou duálních penetrandů je, že počet a velikosti vad získaných pomocí barevných penetrandů lze ověřit citlivější fluorescenční metodou.

## **Vývojky**

Neméně důležitou složkou kapilární prostředků je vývojka, jejímž úkolem je zvýraznění necelistvostí. Druhým úkolem je zamaskování povrchu výrobku tak, aby bylo dosaženo co nejvyššího kontrastu.

Kapilární vývojka je činidlo, které se po odstranění přebytečného penetrandu nanáší na zkoušený povrch předmětu, kde napomáhá vzlínání penetrandu z necelistvostí a společně s ním vytváří kapilární indikaci. [1]



Základem všech druhů kapilárních vývojek je práškovitá složka bílé barvy, jemného zrnění, která nesmí být hydroskopická. Používají se nejčastěji tyto látky: oxid zinečnatý, hořečnatý, uhličitan hořečnatý, vápenatý (křída), amorfni křemičitany, kaolin, mastek, bentonity aj. Druhou složkou vývojky je nosné prostředí, kterým může být vzduch, voda, aceton, líh, benzin aj. [1]

### ***Vývojky suché***

Nejvhodnější použití suché vývojky je u fluorescenčních metod - a to v kapilárních linkách, kde se vývojka nanáší naprašováním.

### ***Vývojky na bázi rozpouštědla***

Vývojka je rozptýlena v nosném mediu, nejčastěji v acetonu. Nanáší se na povrch zkoušeného výrobku pomocí stříkacích pistolí, rozprašovači či spreji.

### ***Vývojky na bázi vody***

Tento druh vývojky je rozptýlen ve vodě. Nanáší se na zkoušený výrobek nejčastěji ponořováním do předehřáté lázně.

### **Emulgátory**

Emulgátory jsou povrchově účinné látky, usnadňující rozptýlení pevných nebo kapalných látek v kapalině (obvykle ve vodě), v níž se normálně nerozpouštějí. V kapilárních zkouškách emulgátory usnadňují odstranění přebytku penetrantu z povrchu zkoušeného materiálu. [1]

Rozeznáváme dva druhy emulgátorů. Hydrofilní emulgátory jsou biologicky odbouratelné, používají se v kapilárních linkách. Opakem jsou lipofilní emulgátory, které nejsou biologicky odbouratelné.

### **Odmašťovače**

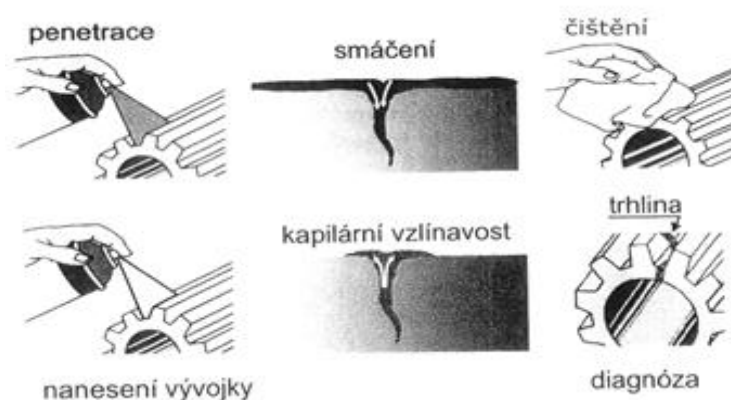
Odmašťovač je činidlo (buď organické nebo neorganické), odstraňující tuk nebo olej z povrchu zkoušeného předmětu před nanesením detekční kapaliny. Jako odmašťovače může být použito různých organických rozpouštědel (benzin, aceton, chlorovaná rozpouštědla aj.), nebo anorganických chemikálií (louh sodný nebo draselný ve vhodném zředění, sodové roztoky, aj.). [1]

## Čističe

Čistič je kapalina sloužící k odstranění penetrantu z povrchu zkoušeného předmětu nebo k odstranění nežádoucího pozadí. Základem čističe je organické rozpouštědlo, často kombinované s emulgátorem, případně dalšími látkami. V některých případech se používá jako čističe samotného organického rozpouštědla. V takovém zkušebním postupu však hrozí nebezpečí vymytí penetrantu z necelistvostí. [1]

### 2.3.6 Pracovní postup

Pracovní postup lze shrnout do pěti částí (obr. 2.3.1).



Obr. 2.3.1 Postup nedestruktivní kapilární zkoušky [25]

### Příprava povrchu

Účelem přípravné fáze je odstranění nečistot nejen z povrchu, ale i z necelistvostí, a tím umožnění samotné penetrace. První možností přípravy povrchu je mechanické předčištění. Nevýhodou mechanického předčištění je, že může dojít k zanesení necelistvostí prachem, nebo k povrchové změně tvaru a uzavření povrchu necelistvostí. Druhou možností přípravy povrchu je chemické předčištění, při kterém se používají především organická rozpouštědla. Vysokou účinnost vykazuje čištění v párách rozpouštědel a čištění ultrazvukem v lázni rozpouštědla.

### Nanesení penetrantu

Předčištěný povrch předmětu musí být vystaven dostatečnou dobu působení penetrantu, aby mohl proniknout do necelistvostí.

Nanesení se může provést těmito způsoby:

- a) Ponořením (menší výrobky),

- b) nátěrem,
- c) nástřikem.

### **Odstranění přebytečného penetrantu**

Odstranění detekční kapaliny musí proběhnout tak, aby přebytečná kapalina nevytvářela barevné pozadí a tím nepravou indikaci, a zároveň nedošlo k vymytí penetrantu z necelestvostí.

Odstranění přebytečného penetrantu se provádí těmito způsoby:

- a) Mechanický způsob,
- b) způsob za pomoci rozpouštědel,
- c) emulgační způsob,
- d) postemulgační způsob.

### **Vyvolání**

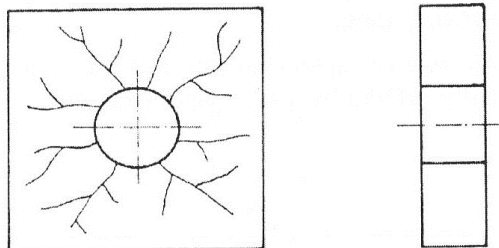
Nanesená vývojka umožňuje vzlínání detekční kapaliny na povrch předmětu a její barevný kontrast s penetrantem přináší nepatrné zvětšení obrazu indikace.

### **Vyhodnocení**

Po ukončeném pracovním zkušebním procesu musí být součást pečlivě prohlédnuta a nalezené indikace necelestvostí vyhodnoceny. Hodnocení je mnohem více než všechny předcházející fáze závislé na zkušenostech, pečlivosti a svědomitosti pracovníka, jakož i na jeho dobrém fyzickém a psychickém stavu. [1]

### **2.3.7 Citlivost kapilárních metod**

Citlivost kapilárních metod se hodnotí pomocí kapilárních měrek. Používají se měrky s umělou necelestvostí (americká zkušební měrka, měrka IIW, měrka Vöest, kuželová měrka) nebo s přirozenou necelestvostí (hliníková měrka (obr. 2.3.2), ohybová měrka).



*Obr. 2.3.2 Hliníková měrka [1]*

## 2.4 Metoda rozptylových toků

Uplatnění rozptylových toků je především u feromagnetických materiálů, kde je vzhledem k principu metody dosaženo nejvyšší citlivosti.

### 2.4.1 Princip metody

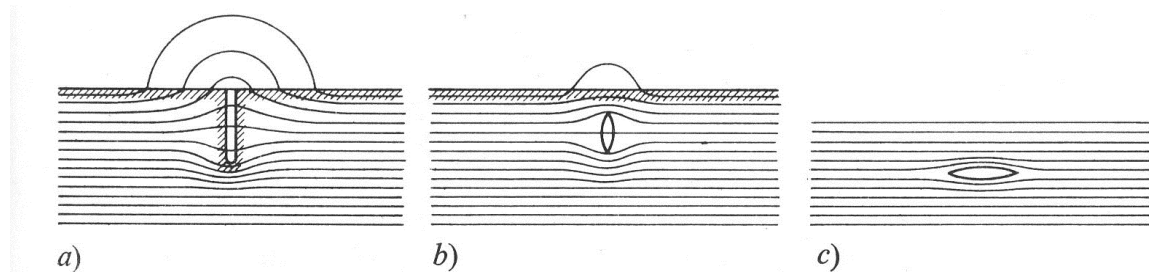
Protéká-li magnetické pole feromagnetickým materiálem, pak na místech s velkými rozdíly permeability dochází ke změnám směru pole. Největší rozdíl magnetické vodivosti představuje vždy povrchová nečelistvost, kde se dobře vodivé prostředí – železo – stýká s velmi špatně vodivým prostředím – vzduchem. Vysoký magnetický odpor v místě vady způsobuje změnu magnetického toku, tj. siločáry jsou ze zdravého materiálu vytlačovány nebo musí vadou proniknout. Převážná část siločar opouští předmět přímo v místě vady, přeskočí trhlinu, a bezprostředně za ní se opět vrací do zdravého materiálu. [6]

### 2.4.2 Použitelnost metody

Pro zjišťování povrchových vad na feromagnetických materiálech je proto magnetická prášková metoda, díky její svému principu, nejspolehlivější, nejrychlejší a nejcitlivější zkušební metodou. V porovnání s ostatními metodami je magnetická prášková metoda velmi málo ovlivňována geometrií povrchu, drsností povrchu, materiálovým složením a jeho mikrostrukturou. [6]

### 2.4.3 Teoretické základy

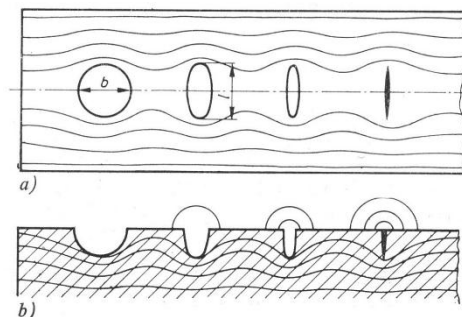
Pro pochopení metody rozptylových toků jsou nezbytné znalosti o vzniku magnetického pole (obr. 2.4.1), Biotův-Savartův zákon, výpočet magnetických polí (vodičů, kruhových závitů, solenoidů, toroidů).



Obr. 2.4.1 Vznik rozptylového toku nad vadou [3]

## 2.4.4 Faktory ovlivňující rozptylové pole nad necelistvostí

Rozptylové pole nad necelistvostí nejvíce ovlivňuje intenzita magnetického pole, orientace vady, hloubka vady a tvar vady (obr. 2.4.2).



Obr. 2.4.2 Závislost velikosti rozptylového toku na tvaru trhliny [3]

## 2.4.5 Způsoby magnetizace

Pro vytvoření rozptylového pole v místě vady je nutno zkoušený předmět magnetovat - a to v optimálním případě kolmo na směr zjišťované vady. Vady rovnoběžné se směrem magnetického pole se nezjistí, neboť magnetické pole nenarušují. Proto je třeba používat více způsobů magnetování, abychom vytvořili směr pole co nejvhodnější, tj. co nejkolmější ke směru předpokládaných vad na výrobku. Pokud orientace vad ani jejich lokalizaci nedovedeme předvídat, musí se použít různé kombinované způsoby magnetování. [1]

### Pólová magnetizace cívkou

Zkoušený výrobek se zasune do cívky nebo u rozměrnějších předmětů se posouvá cívka a zkoušený předmět stojí. Cívkou protéká proud, který vyvolá magnetické pole rovnoběžně se směrem posuvu. Touto metodou zjišťujeme příčné vady zkoušeného výrobku.

### Pólová magnetizace pomocí magnetizačního jha

Zkoušený předmět nebo jeho část je umístěna mezi póly magnetizačního jha (část elektrického stroje, která je bez vinutí a kterou se vodivě uzavírá magnetický tok) a stává se součástí magnetického obvodu. Magnetické pole prochází od jednoho pólu k druhému a předmět je podélně magnetován. Tímto způsobem jsou zjištělné příčné trhliny.

### **Cirkulární magnetizace přímým průchodem proudem kontrolovaným objektem**

Magnetizace, prováděná tímto způsobem, je dosažena průchodem proudem značné intenzity přes kontrolovanou součást. [1]

### **Cirkulární magnetizace pomocným vodičem**

Uplatňuje se především u prstencovitých, trubkových součástí nebo součástí s otvorem (např. závěsná oka, otvory pro šrouby apod.), kterými je možno provléci pomocný proudový vodič. [1]

Tímto způsobem zjišťujeme podélné trhliny. Jelikož zkoušenou součástí neprochází proud jako v předešlé metodě, nedochází v místě styku k opalům.

### **Cirkulární magnetizace indukci proudem**

Součást na trnu obklopuje magnetizační cívka, která je napájena střídavým proudem. Vytvořeným střídavým magnetickým tokem od magnetizační cívky se indukuje v kontrolovaném kroužku napětí, a protože kroužek vlastně představuje závit nakrátko, protéká jeho obvodem elektrický proud. [1]

Tímto způsobem zjišťujeme podélné vady na zkoušeném předmětu (např. u dutých kroužků a krátkých trubek) a nedochází k opalování na kontaktech zkoušeného předmětu.

### **Kombinovaná magnetizace**

Nevýhodou předešlých systémů je jednoúčelovost zkoušek, což se projevuje na efektivnosti práce. Tuto nevýhodu odstraňuje kombinace předešlých typů zkoušek, přičemž magnetické pole musí odhalit jak podélné, tak i příčné nečelistvosti.

Možnosti kombinované magnetizace:

- a) Kombinace magnetizačního jha a průchodem proudem,
- b) kombinace cívky a průchodem proudem,
- c) kombinace cívky a pomocného vodiče,
- d) kombinace indukce proudem a pomocného vodiče.

## **2.4.6 Druhy magnetizačního proudů**

Pro buzení magnetického pole v kontrolovaném objektu se používá střídavý i stejnosměrný elektrický proud. Na druhu proudem závisí průnik magnetického pole do

materiálu, s čímž souvisí jak zjistitelnost podpovrchových nečistostí, tak nároky na odmagnetování kontrolovaných výrobků. [1]

Druhy proudů pro buzení magnetického pole:

- a) Střídavý proud,
- b) stejnosměrný proud,
- c) usměrněný proud,
- d) impulsní proud.

### **2.4.7 Detekční prostředky**

Nejčastějším detekčním prostředkem je feromagnetický prášek, který může být suchý nebo rozptýlený ve vhodné kapalině (magnetická polévací metoda). V kontrolních automatických linkách se ke zjištění magnetického rozptylového pole používají sondy.

#### **Magnetické prášky**

Magnetické prášky rozdělujeme na barevné a fluorescenční. Základem barevných prášků je čisté železo nebo jeho oxidy (oxid železitý, oxid železnato-železitý). Fluorescenční prášky obsahují feromagnetické částičky obalené luminiscenční barvou.

#### **Suspenze**

Detekční suspenze rozdělujeme na olejové a vodné. Olejové suspenze obsahují magnetický prášek rozptýlený ve směsi oleje a nafty. Vodné suspenze se skládají z nosného média a přidaných aditiv smáčenlivosti, koroze a protipěnovosti.

#### **Nestandardní detekční prostředky**

Mezi nestandardní detekční prostředky patří magnetické barvy a polymerní systémy. Magnetické barvy jsou těžší frakce oleje spolu s vločkovitým magnetickým práškem.

U polymerních systémů je detekční kapalina na bázi vytvrzujících polymerů. Tím se dosáhne fixace indikace na povrchu kontrolovaného předmětu. Polymerový povlak je možné i sejmut, ten pak slouží jako dokumentační archivní materiál. Při použití těchto prostředků je nutná poměrně dlouhá magnetizace. [1]

#### **Sondy**

Používají se při automatizované kontrole. Aby došlo k lokalizaci vady, musí být zabezpečeno skenování sledovaného povrchu pomocí manipulačního zařízení. Proto se

tento způsob indikace využívá nejčastěji při zkoušení rotačně symetrických těles (tyče, roury, svorníky, apod.). [1]

Nejčastěji používané sondy pro lokalizaci vady:

- a) Vzduchová cívka,
- b) feromagnetická sonda,
- c) Hallova sonda.

## **2.4.8 Odmagnetování**

Při aplikaci magnetických metod v nedestruktivním zkoušení dochází k namagnetování feromagnetických materiálů, které se pak chovají jako permanentní magnety. Při třískovém obrábění ulpívají třísky (špony) na opracovaném výrobku, poškozují dosaženou kvalitu povrchu a zvyšují opotřebení nástrojů. Zmagnetované součástky mohou během provozu stroje přitahovat feromagnetické součásti (např. ložisek všech typů), a tím silně zvýšit opotřebení. [26]

Způsoby odmagnetování výrobku po provedení zkoušky:

- a) Odmagnetování magnetickým střídavým polem se snižující se amplitudou,
- b) přepínáním polarity,
- c) odmagnetování opačným polem použitým při zkoušce.

## **2.5 Metoda vířivých proudů**

Metoda vířivých proudů se používá pro zjišťování vad komunikujících s povrchem a vad ležících těsně pod povrchem. A to především ve velkých provozech, kde je zapotřebí velkého množství zkoušek za co nejkratší časový interval.

### **2.5.1 Princip metody vířivých proudů**

Střídavé pole snímače indukuje v materiálu vířivé proudy. Dle Lenzova zákona pole vířivých proudů působí proti poli původnímu. Výsledné pole je dáno vektorovým součtem obou polí. Koncový bod výsledného vektoru je zobrazován ve fázové rovině na displeji přístroje. Trhlina na povrchu, kolmo k toku vířivých proudů nejvíce ovlivňuje výsledné pole. Ve fázové rovině měřicího přístroje je koncový bod výsledného vektoru maximálně vzdálen od počátku souřadnic. [7]



### **2.5.2 Použitelnost vířivých proudů**

Metoda vířivých proudů se používá všude tam, kde je požadována 100 % kontrola velkého množství výrobků a tedy z časových i ekonomických důvodů automatizace kontrolního procesu. Automatizací se zabezpečí vysoká opakovatelnost výsledků kontroly, minimalizace vlivů lidského faktoru a menší nároky na personální vybavení. [1]

Metoda vířivých proudů často nahrazuje metodu prozářením a to z důvodu ekonomických a časových úspor. Používání vířivých proudů je z 99 % spjato s kontrolou trubek a tyčí nebo vyhledáváním trhlin ve výměnících tepla.

### **2.5.3 Teorie vířivých proudů**

Pro správné pochopení metody vířivých proudů jsou zapotřebí znalosti z elektromagnetické indukce, Foucaultových proudů, skin efektu a permeability.

### **2.5.4 Metody zkoušení**

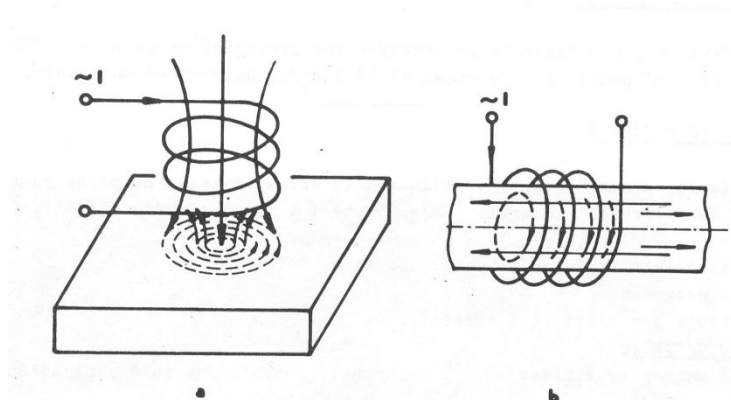
Při zkoušení vířivými proudy rozlišujeme dvě metody zkoušení:

#### **Metoda s průchozí cívkou**

Kontrolovaný materiál prochází snímačem s dvojitým vinutím - magnetizačním a měřicím. Primární magnetizační vinutí je napájeno střídavým proudem, vytvářející střídavé magnetické pole (obr. 2.5.1 b). [1]

#### **Metoda s příložnou cívkou**

Metoda s průchozí cívkou má své ideální maximum citlivosti na necelistvostech v závislosti na průměru zkoušené tyče (popř. trubky). V těchto případech se používá příložná cívka, která je rovněž napájena střídavým proudem a vytváří střídavé magnetické pole. Cívka se přikládá kolmo na zkoušený předmět a ve zkoušeném předmětu vytváří vířivé proudy, které zpětně ovlivňují přiloženou cívku (obr. 2.5.1 a).



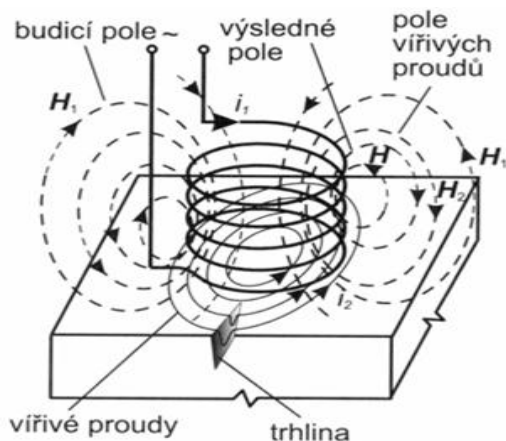
Obr. 2.5.1 Zkoušení metodou vířivých proudů, a - metoda s přiložnou cívkou, b - metoda s průchozí cívkou [22]

## 2.5.5 Konstrukce snímačů

Konstrukce snímačů může být absolutní nebo diferenciální.

### Absolutní snímače

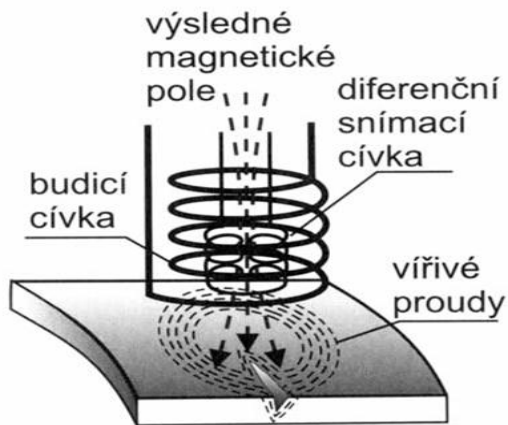
Informace o necelistvostech z absolutního snímače se projeví na impedanci jediné cívky (obr. 2.5.2).



Obr. 2.5.2 Absolutní snímač [24]

### Diferenciální snímače

Informace o necelistvostech se u diferenciálního snímače získávají ze dvou cívek (obr. 2.5.3).



Obr. 2.5.3 Diferenční snímač [24]

## 2.6 Vizuální metody

Vizuální kontrola je nezastupitelným členem nedestruktivního zkoušení materiálu. Používá se nejen jako samostatná metoda, která například v leteckých servisech zaujímá 90 % všech provedených zkoušek. Rovněž slouží jako vyhodnocení u jiných nedestruktivních zkoušek, jako například u kapilární metody a magnetické polévací metody.

### 2.6.1 Rozdělení vizuálních metod

Rozdělení vizuálních metod je závislé na tom, jestli je přerušena nebo nepřerušena optická dráha mezi okem a zkoumanou plochou.

#### Přímá metoda

U přímé metody je pozorována přístupná plocha pouhým okem (popř. zvětšovací lupou). Pozorování je podmíněno minimálním osvětlením 500 luxů ze vzdálenosti menší než 600 mm, zároveň úhel pozorování musí být větší než 30°.

#### Nepřímá metoda

Je-li optická dráha mezi okem a pozorovanou plochou přerušena, používají se k dosažení vzdáleného místa specializované endoskopy.

### 2.6.2 Endoskopy

Endoskopy rozdělujeme do dvou hlavních skupin - na ohebné a pevné.

### **Pevné endoskopy (boroskopy)**

Boroskop má klasickou konstrukci s optickou soustavou. Používají se na pozorování nepřístupných míst, kam lze však prostrčit inspekční trubici boroskopu. Pozorovatel při pozorování neztrácí orientaci v prostoru, což je velkou výhodou.

### **Ohebné endoskopy (fibroskopy)**

Pro přenos obrazu je použit svazek optických vláken (inspekční trubice je ohebná). Používají se v případech komplikovaného přístupu do pozorované oblasti. Konec fibroskopu je opatřen výměnným objektivem, který lze dálkově ovládat a natáčet do požadovaného směru. [1]

### **Videoskopy**

Videoskopy se používají obdobně jako fibroskopy avšak tam, kde je požadován obraz v nejvyšší kvalitě ať z hlediska rozlišovacího nebo z hlediska maximální věrnosti barev. Pro přenos obrazu slouží miniaturní barevná kamera CCD (Charge Coupled Device). Používá se tam, kde je potřeba převádět intenzitu světla na elektrické signály. Videoskopy mají výhody fibroskopů, tzn. ohebnost, dálkové ovládaní a možnost měnit optické parametry. K jejich výhodám patří nejdelší dosah (až 30 m) a jednoduchá manipulace. Zkoumaná oblast se pozoruje na barevném televizním monitoru a umožňuje pořízení videozáznamu. [1]

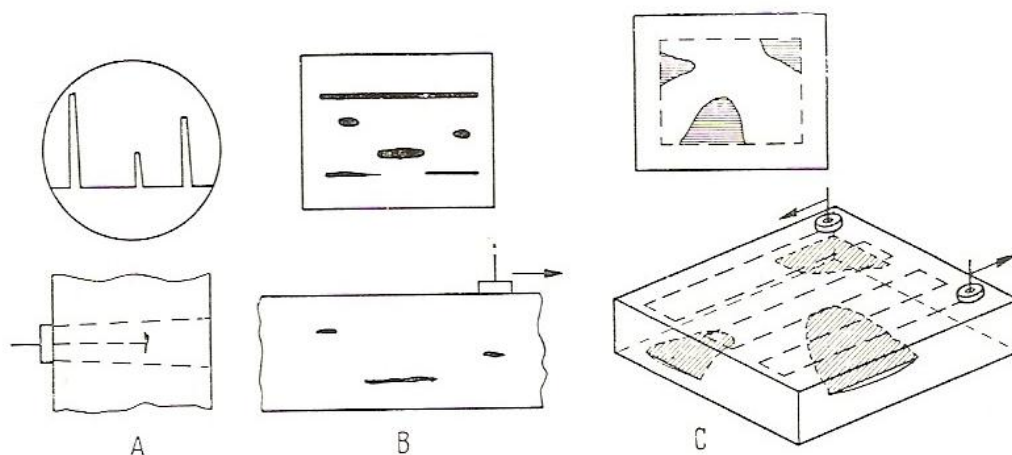
## **2.7 Zkoušky ultrazvukem**

Nedestruktivní zkoušení materiálů zvyšuje jakost a spolehlivost výrobků ve všech oborech lidské činnosti, ať už ve strojírenství, hutnictví či letectví. Nejpoužívanější a nejvšestrannější z nedestruktivních zkoušek je zkoušení ultrazvukem. Výhodou ultrazvuku je, že nezjišťujeme pouze přítomnost vad, ale současně jejich polohu a velikost. Zjišťované vady mohou vzniknout při výrobě či v provozu výrobku.

### **2.7.1 Použitelnost**

Pomocí ultrazvukové defektoskopie lze zjišťovat vnitřní necelistvosti. Největší uplatnění v technické praxi má zkoušení ocelových výrobků. Ultrazvuku se využívá i pro měření délek, tloušťek, geometrických tvarů a některých vlastností materiálu (např. modulu pružnosti, tvrdosti apod.). [14]

Vady zobrazujeme různými způsoby, které nám umožňují správné vyhodnocení (obr. 2.7.1).



Obr. 2.7.1 A-, B- a C sken [9]

## 2.7.2 Teoretické základy metody

Ultrazvuk je mechanické vlnění s frekvencí větší než 16 kHz. Ultrazvukové vlny dělíme na vlny podélné, příčné, povrchové a vlny deskové.

## 2.7.3 Ultrazvukové sondy

Ultrazvukové sondy slouží k přeměně elektrické energie na energii mechanickou a naopak. Umožňují zavádět akustickou energii do zkoušeného materiálu a naopak energii dopadající na sondu kvalitativně vyhodnotit.

Rozdělují se podle několika hledisek:

- podle typu - přímá, úhlová, dvojitá
- podle tvaru měniče - kruhový, půlkruhový, pravoúhelníkový
- podle typu měniče - piezoelektrický, magnetostrikční

### Sondy s Piezoelektrickým měničem

V nedestruktivním zkoušení materiálu se jako zdroje ultrazvukových impulsů převážně používají piezoelektrické měniče jako elektroakustické transformátory elektrické energie na mechanickou a mechanické na elektrickou. [12]

### **Sondy s elektro-magneto-akustickým měničem**

Základní charakteristikou vlastností metody zkoušení elektrodynamickými měniči (EMAT) a zároveň její největší výhodou je její bezkontaktnost. V praxi to znamená, že zatímco u klasického ultrazvuku je nutné dodržovat mezi sondou a zkoušeným materiálem vrstvu vazebního média, aby se ultrazvuk „dostal“ ze sondy do materiálu, u systému EMAT tato potřeba odpadá. To je dáno tím, že při buzení sondou EMAT vzniká ultrazvuková vlna až v povrchové vrstvě zkoušeného materiálu a nikoliv již v sondě, jak je tomu u piezo-keramických sond. [10]

Protože však tento způsob buzení ultrazvukových vln mimo jiné také vyžaduje přítomnost vířivých proudů ve zkoušeném materiálu, je metoda EMAT aplikovatelná jen na elektricky vodivé materiály. [10]

Základní výhodou elektrodynamických měničů je bezkontaktnost, která elektrodynamický měnič předurčuje k použití u automatizovaných systémů zkoušení a zkoušení za vysokých teplot nad 1000 °C. Další výhodou je absence vazebního média, které u některých materiálů způsobuje korozi. Výhodou je i zkoušení drsných, nečistých, zamaštěných povrchů, materiálů s nátěrem nebo s izolací.

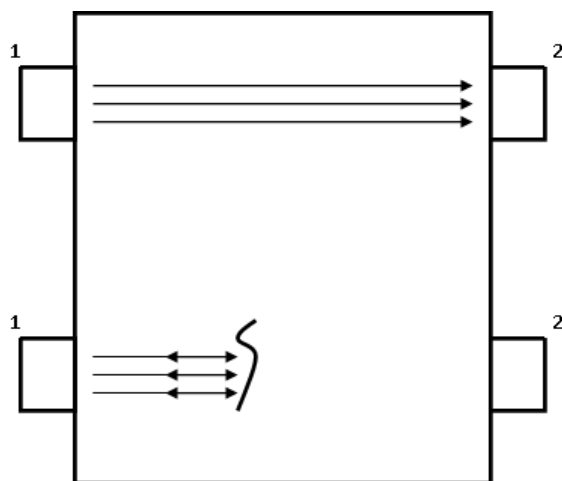
### **2.7.4 Metody zkoušení**

Při zkoušení ultrazvukem se využívají nejčastěji dvě metody - průchodová a odrazová.

#### **Průchodová metoda**

Průchodová metoda je založena na měření ultrazvukové energie, která prošla zkoušeným předmětem. Ultrazvukové vlny, které do materiálu vysílá vysílací sonda, jsou z druhé strany přijímány sondou přijímací. Rozdíl akustické energie vysílané vysílačem a přijaté po průchodu prostředím přijímačem je registrován měřicím přístrojem (obr. 2.7.2). [2]

Výhodou průchodové metody je jednoduchost zkoušení. Nevýhody průchodové metody však omezují její použití. Mezi základní nevýhody patří malá citlivost, nemožnost zjištění hloubky vad a nutný přístup k materiálu z obou stran pro sondu vysílací a přijímací.

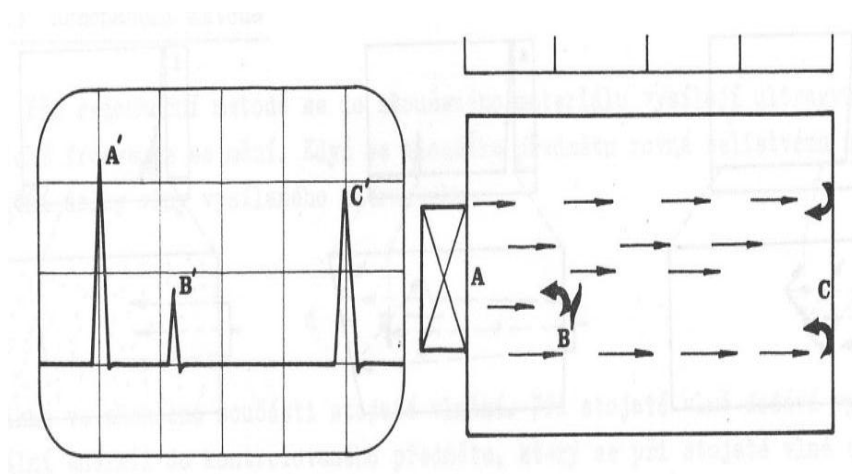


*Obr. 2.7.2 Průchodová metoda zkoušení*

*1,(2) - vysílací (přijímací) sonda*

### **Odrážová metoda**

Odrážová metoda je založena na principu odrazu ultrazvukových vln na rozhraní dvou prostředí. Ultrazvukových svazek může být vysílaný spojitě nebo impulsově. Při použití spojitého svazku má metoda podobné vlastnosti jako metoda průchodová s tím rozdílem, že přijímací sondou jsou registrovány ultrazvukové vlny odrazení od protější stěny nebo vady materiálu (obr. 2.7.3). Metoda tedy umožňuje provádět zkoušky na výrobcích přístupných pouze z jedné strany. Při vyhodnocování se musí počítat s dvojnásobnou délkou dráhy ultrazvuku proti metodě průchodové, jakož i s možností vzniku jiného druhu vln. Impulsová odrazová metoda dává nejvíce informací o zkoušeném materiálu, a je proto v defektoskopii nejvíce používána. [2]



*Obr. 2.7.3 Princip odrazové metody [23]*

### 2.7.5 Faktory ovlivňující zkoušku

Na správný průběh zkoušky mají kromě samotného přístroje a typu sondy největší vliv:

- a) Akustická vazba,
- b) povrch zkoušeného výrobku,
- c) tvar zkoušeného výrobku,
- d) materiál výrobku.

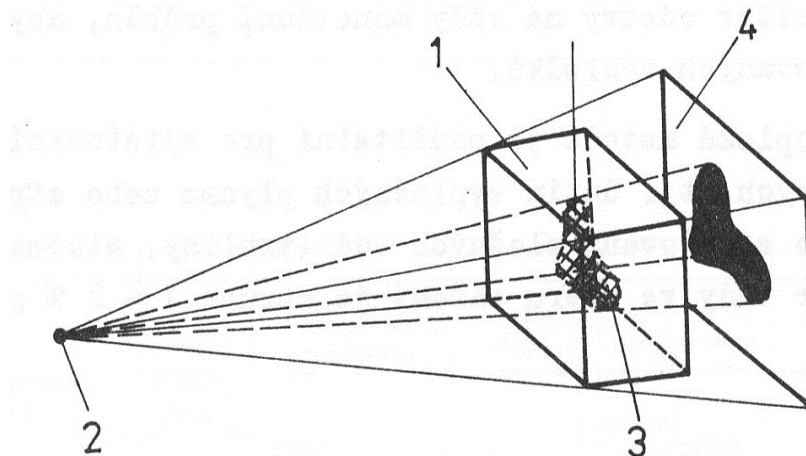
## 2.8 Prozařování

Prozařovací metody jsou nezastupitelné ve zjišťování vnitřních necelistvostí materiálů. Jejich nevýhodou je technická náročnost samotného procesu zkoušení z toho vyplývající cena prozařování.

### 2.8.1 Princip metody

Princip defektoskopické metody je založen na prozařování materiálu ionizačním zářením a následným vyhodnocením zeslabení záření při průchodu objektem (obr. 2.8.1).

[15]



Obr. 2.8.1 1 - prozařovaný předmět, 2 - zdroj ionizujícího záření, 3 - makrostrukturní porucha materiálové celistvosti, 4 - zobrazovací rovina detektoru záření [23]



## 2.8.2 Druhy záření

Záření je možno obecně definovat jako šíření energie prostorem. Pokud se tato energie šíří prostřednictvím vlnění, jde o elektromagnetické vlnění (rentgenové záření nebo záření gama). [1]

### Záření X (rentgenové)

Jako záření X je označováno krátkovlnné fotonové záření, vznikající v elektronovém obalu atomu. Jde především o „brzdné“ záření, vznikající zpomalováním nabitých částic ve hmotě a dále o tzv. „charakteristické“ záření, vznikající při přechodech elektronů z vyšší energetické hladiny do nižší. [1]

### Záření gama

Jako záření gama je označováno krátkovlnné fotonové záření, vznikající většinou při přechodu atomového jádra z vyššího energetického stavu do nižšího (radioaktivní přeměna v radioizotopech). [1]

## 2.8.3 Zdroje ionizujícího záření

Zdroje se rozlišují podle druhu ionizujícího záření.

### Rentgenka

Jako zdroj rentgenového záření se používá tzv. rentgenka neboli Coolidgovy trubice. Jedná se o skleněné vakuované trubice obsahující wolframovou anodu a žhavenou katodu. Na elektrody je přiváděno vysoké napětí (řádově 10-100 kV). Vysoká teplota katody umožňuje termoemisi elektronů, které jsou přiváděným napětím vysoce urychlovány a dopadají na anodu. Tam prudce ztrácejí svou kinetickou energii, která se mění z 0,1 % v energii emitovaných fotonů rentgenového záření a z 99,9 % v teplo. Anoda musí být intenzivně chlazena vodou nebo rotací, při které se neustále mění místo dopadu elektronového svazku. Takto vzniká „brzdné“ elektro-magnetické záření se spojitým spektrem. [16]

### Izotopový zářič

Na rozdíl od rentgenky, která vyzařuje rentgenové záření, je-li na ní přivedeno vysoké a žhavicí napětí, vyzařuje nestabilní izotopový zdroj záření gama trvale. Proto musí být

přechováván v ochranném krytu, jehož konstrukce a stínění musí vyhovovat podmínkám použití druhu a aktivity zářiče. [2]

#### **2.8.4 Způsoby registrace záření**

Zachycení ionizujícího záření pro výsledné hodnocení provádíme pomocí radiografie nebo radioskopie.

##### **Radiografie**

Radiografie je vytvoření viditelného obrazu prozařovaného objektu na radiografický film. Účinkem rentgenového záření vznikne v citlivé vrstvě filmu latentní (neviditelný) obraz. Po fotochemickém zpracování filmu (vyvolání, ustálení, praní a sušení) získáme viditelný negativní obraz (radiogram), který lze prohlížet a analyzovat prosvětlením filmu v tzv. negatoskopu. [17]

##### **Radioskopie**

Radioskopie je zobrazení obrazu záření procházejícího materiálem na obrazovce monitoru. Základem radioskopie jsou detektory záření, které transformují dopadající záření na optický nebo elektrický signál. Tento signál je zesílen a po digitalizaci dále zpracován a zobrazen na monitoru. Digitalizace zpracování signálu přináší kromě snadné archivace zkomprimovaných souborů možnost využití programového vybavení pro získání vyšší kvality obrazu, tj. získání potřebné rozlišitelnosti detailů. [18]

### **2.9 Metoda akustické emise**

K akustické emisi dochází ve zdroji akustické emise při uvolňování energie způsobené vnitřními nebo vnějšími silami. Vznik akustické emise je generován nevratnými dislokačními a degradačními procesy v mikrostruktuře a makrostruktuře materiálu, kavitačními procesy v hydrodynamických systémech, turbulencí při úniku kapaliny z potrubí, degenerací dielektrika atd. Uvolněná energie se transformuje na mechanický napěťový impulz šířící se materiálem jako elastická napěťová podélná nebo příčná vlna. [20]

U moderních provedení senzorů je v pouzdru zabudován předzesilovač a snímač je tak schopný, i když je energie vlny velmi malá, vyhodnotit dislokace v materiálu v řádech  $10^{-14}$ m. [20]

Výhodou akustické emise oproti jiným defektoskopickým metodám je kontinuální monitorování objektu a úspora času v porovnání s postupným testováním jinými metodami. [20]

Nevýhodou metody je, že příčinu vzniku akustické vlny přesně neznáme, neboť uvolněná energie je ovlivňována řadou faktorů jako tvar a povrch tělesa, přenosová cesta vlny (funkce šíření akustické vlny) daná strukturou a homogenitou materiálu. [20]

## **3 Trendy nedestruktivního testování**

Většina metod nedestruktivního testování byla patentována v minulém století, ale až bouřlivý vývoj technologií umožnil jejich použití, jenž se do této doby uskutečňovalo pouze v laboratorním prostředí. Nová doba a vzrůstající nároky však přináší nepoznané problémy, které je snaha vyřešit novými typy zkoušek nebo technologiemi zkoušení.

### **3.1 Moderní trendy v rozptylových tocích**

#### **3.1.1 Magnetizace metodou Quick-Break**

Princip magnetizace, označované v literatuře jako „Quick Break Circuitry“, je založen na rychlém vypnutí magnetizačního proudu po předchozím zmagnetizování kontrolovaného výrobku. Rychlým vypnutím se rozumí úplné přerušení stejnosměrného proudu v několika málo desítkách milisekund. Docílí se tím následujícího efektu: [1]

Při magnetování součásti s volnými konci (např. válcové součásti) dochází k demagnetizačnímu efektu, tj. že se si součást vytváří kolem sebe vlastní magnetické pole, jež ovlivňuje pole magnetizační, generované např. magnetizační cívkou. Důsledek tohoto jevu se projeví rozšířením oblasti výstupu magnetického toku v okolí volných konců. Magnetické siločáry tedy nevystupují (nebo nevstupují) pouze na pólech, tj. čelních plochách na konci součásti, ale také na blízké válcové ploše, což však může být považováno také za rozptylový tok od trhlin v blízkosti konců. Při pomalém vypínání toto nerelevantní rozptylové pole v okolí konců zůstává. [1]

Technické obtíže pro provedení tohoto způsobu magnetování spočívají v nárocích na vypínací vlastnosti výkonových vypínačů realizujících „Quick Break“. Vždy se jedná o rychlé vypínání značných proudů, protékajících indukční zátěží. Vzniklá indukovaná napětí při vypínání mohou dosahovat velkých hodnot a ztěžovat vypínání hoření oblouku na vypínacích kontaktech. [1]

## **3.2 Moderní trendy zkoušení pomocí vířivých proudů**

### **3.2.1 Multifrekvenční metody kontroly**

Multifrekvenční metoda tzv. MIX se používá pro separaci vlivů některých konstrukčních komponent, jež tvoří s kontrolovaným objektem jednotky a neodnímatelný finální celek. [1]

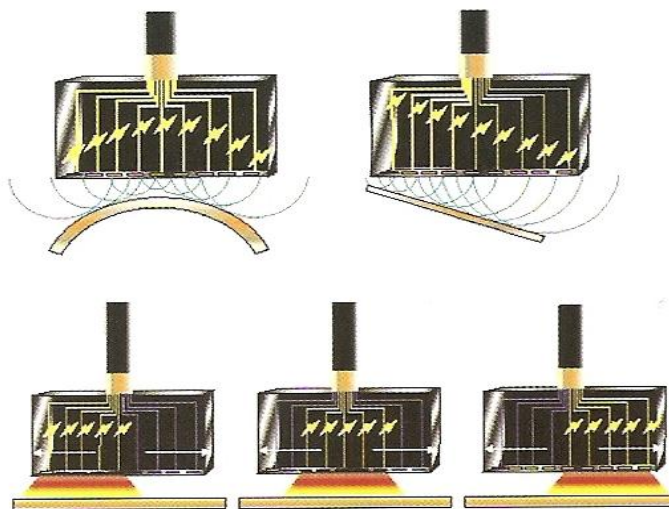
### **3.2.2 Metoda zkoušení vzdáleným polem vířivých proudů**

Metoda zkoušení vzdáleným polem vířivých proudů (RFEC - Remote Field Eddy Current) využívá pro zkoušení kovových trubek vnitřní sondu. Metoda se vyznačuje schopností kontrolovat jak feromagnetické, tak i neferomagnetické materiály se stejnou citlivostí vůči vnitřním nebo vnějším anomáliím. Jedinou sondou se mohou zjišťovat důlky, trhliny a obecné zeslabení stěn. [8]

## **3.3 Moderní trendy zkoušení ultrazvukem**

### **3.3.1 Technika Phased array**

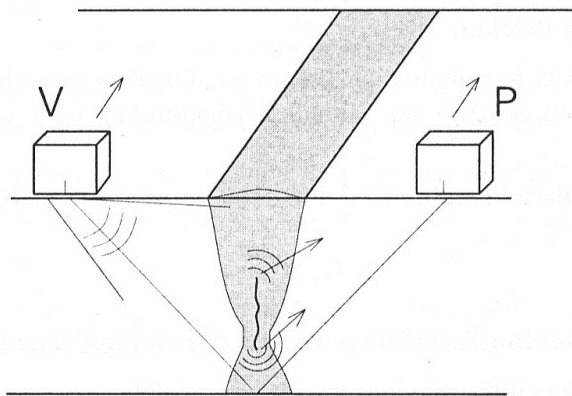
Základem je speciální Phased array (dále jen PA) sonda. Vzniká rozdělení jednoho ultrazvukového měniče na více elementů. U ručních přístrojů dnes v rozmezí 8 až 128 elementů, nejčastěji však 16 až 64. Pokud, dle (obr. 3.3.1), začne buzením jednoho krajního elementu a pokračuje postupně směrem na druhou stranu, dostane se po složení vlnoploch ultrazvukového signálu od jednotlivých elementů úhlová vlna. Její úhel je dán nastavením časového zpoždění buzení jednotlivých elementů. Obdobným způsobem může buzení začínat u obou krajních elementů a pokračuje do středu. Výsledkem je zde vlna fokusovaná, hloubka fokusace je dána opět časovým zpožděním buzení jednotlivých elementů. Mohou také vybudit v prvním kroku několik elementů současně, v druhém kroku vybudím elementy sousedních apod. Výsledkem je pohyb ultrazvukového svazku odpovídajícího skupině současně buzených elementů. Uvedené tři případy (úhel, fokusace a pohyb) se samozřejmě můžou libovolně kombinovat. Zjednodušeně řečeno, PA sondy umožňují softwarové nastavení velikost sondy, úhlu, fokusace a pohyb v rámci velikosti sondy. [11]



*Obr. 3.3.1 Možnosti použití Phased array [11]*

### 3.3.2 Technika TOFD

Metoda ultrazvukové kontroly využívající techniku TOFD umožňuje spolehlivou detekci a hodnocení velikostí vad ve svárech. Představuje v současné době jeden z nejefektivnějších způsobů ultrazvukového zkoušení. Princip metody TOFD je založen na skutečnosti, že při dopadu ultrazvukové vlny na nehomogenitu plošného typu (trhlinu) dochází k difrakci vlnění, kdy vlivem okrajového jevu vyzařují okraje vady ultrazvukové vlny, které jsou na protilehlé straně detekovány přijímací sondou (obr. 3.3.2). Z časových rozdílů přijatých signálů je možno přímo stanovit polohu a rozměr vady ve směru tloušťky. Tato metoda, vyvinutá M.G. Silkem v r. 1977 byla nazvána „Time-of-Flight Diffraction Technique” (TOFD) a v poslední době se výrazně uplatňuje zejména při kontrole svarů tlakových nádob a potrubí. O jejím významu svědčí i skutečnost, že je obsažena v britské normě BS 7706 a je považována za jednu z nejspolehlivějších technik pro přesné určení velikosti resp. růstu vady (trhliny). [12]

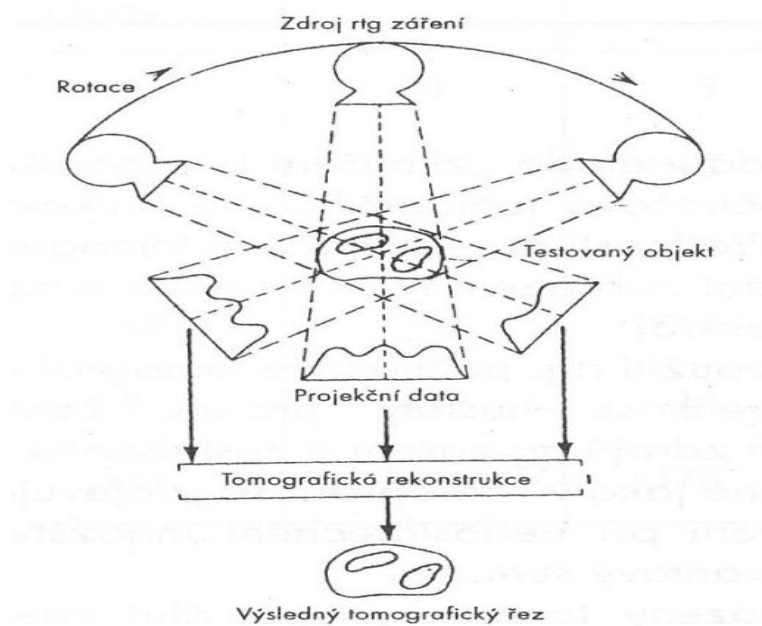


Obr. 3.3.2 Princip metody TOFD [1]

### 3.4 Moderní trendy v používání prozařování

#### 3.4.1 Počítačová rentgenová tomografie

Počítačová tomografie (CT z anglického Computer Tomography) je zobrazovací metoda umožňující zobrazení tenké vrstvy v průřezu diagnostického objektu, a to v rovině svazku různých typů záření nebo vlnění procházejícího objektem. Podstatou CT je počítačová rekonstrukce zobrazení určitého řezu objektu z naměřených dat, získaných při měření svazku záření v řadě projekcí při současné rotaci diagnostikovaného objektu nebo detektorů (obr. 3.4.1). [19]



Obr. 3.4.1 Schematický princip počítačové rtg tomografie [21]

## 4 Závěr

Největší výhoda nedestruktivního zkoušení materiálů vyplývá už ze samotného názvu. Při destruktivním zkoušení dochází ke ztrátě několika desítek až stovek zkoušených předmětů z důvodů průkaznosti. Výsledkem jsou získaná data, která se uspořádají pomocí vhodného statistického rozdělení. Z porovnání konkrétního vzorku a takto získaných hodnot poté předurčujeme životnost jednotlivých výrobků či materiálů v různých provozních podmínkách. Tyto hodnoty nemusí vždy přesně charakterizovat konkrétní zkoumaný materiál či výrobek. Naopak nedestruktivní zkoušení může testovat vzorky před uvedením do provozu a hlavně při stanovených preventivních údržbách. Z toho vyplývá jasný závěr: nedestruktivní testování materiálů uplatňujeme tam, kde je to pro ochranu lidského života nezbytné a kde jsou náklady na obnovu po poruše z důvodu závislých poruch vysoké. Samozřejmě je uplatnění v provozech, kde si nemůžeme dovolit prostoje. V době, kdy se uplatňují systémy s minimálními zásobami materiálu na skladu, jsou časové prostoje pro většina podniků nepřijatelné.

Nedestruktivní zkoušení materiálů je nedílnou součástí lidského bytí. S kontrolami se setkáváme v různých formách a na různých místech, ať ve zdravotnictví, v energetice, ve strojírenské výrobě nebo v letectví. Jeho uplatnění neklesá, ba naopak rychlým tempem vzrůstá. Vznikají nové formy zkoušení a „staré“ metody se inovují.

Ač by se mohlo zdát, že ve vývoji nedestruktivního zkoušení není už kam dále postoupit, jsou tu metody, kterým se připisuje velká budoucnost. Velká naděje defektoskopie je vkládána do akustické emise. Už v dávných dobách horníci dobře věděli, že praskání ve výztuhách není dobré znamení. Historický vývoj zkoušení akustickou emisí se posunul dál a její možnosti kontrolovat zkoušené součásti v reálném čase se uplatňují čím dál častěji. Další očekávaný vývoj nedestruktivního testování bude směřovat k intelektualizaci testování - a to k nahrazení klasického přístupu, kdy se hledá vzniklý defekt, za novodobý přístup, kdy zjišťujeme vzniklé vady ještě před defektem celého zařízení. Nejdůležitějším úkolem tedy nebude odhad velikosti vady, ale odhad životnosti výrobku s vadou.



## Literatura:

- [1] KOPEC, B., a kol.: Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí. Nauka o materiálu 4. Brno: CERM 2008. 572 s. ISBN 978-8-7204-591-4.
- [2] VĚCHET, M., a kol.: Defektoskopie v otázkách a odpovědích. PRAHA: SNTL, 1989. 328 s. ISBN 80-03-00100-5.
- [3] HEPTNER,H., STROPPE,H.: Magnetische und magnetinduktive Werkstoffprüfung. LEIPZIG: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1972. 446 s. VLN 152-915/77/73.
- [4] KOPEC, B.: Vybrané kapitoly z historie nedestruktivního zkoušení. NDT Welding Bulletin. 2008, č. 1, s. 25-29. ISSN 1213-3825.
- [5] SADÍLEK, T.: Kapilární prostředky značky Diffu Therm. NDT Welding Bulletin. 2000, č. 2, s. 31-35. ISSN 1210-7034.
- [6] GAUSS, G.: Zajištění kvality při výrobě železničních kol. NDT Welding Bulletin. 1997, č. 2, s. 70-72. ISSN 1210-7034.
- [7] Principy\_EC. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-8] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/33/principy\\_EC.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/33/principy_EC.pdf)
- [8] KELLER, L.: Zkoušení vzdáleným polem vířivých proudů o nízké frekvenci. NDT Welding Bulletin. 1995, č. 1, s. 22-26. ISSN 1210-7034.
- [9] KRAUTKRÄMER, J., KRAUTKRÄMER, H.: Ultrasonic Testing of Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1983. 667 s. ISBN 3-540-11733-4.
- [10] KRČMA, J.: Oblasti uplatnění ultrazvukových systému EMAT. NDT Welding Bulletin. 1995, č. 4, s. 29. ISSN 1210-7034.
- [11] SMEJKAL, J.: Jak na Phased Array?. NDT Welding Bulletin. 2008, č. 4, s. 29. ISSN 1213-3825.
- [12] Spolehlivá detekce vad svarů metodou TOFD pomocí zařízení RTD PORTEQUIP. NDT Welding Bulletin. 1997, č. 2, s. 44-45. ISSN 1210-7034.
- [13] OBRAZ, J.: Zkoušení materiálu ultrazvukem. PRAHA: SNTL, 1989. 464 s. ISBN 80-03-00097-1.
- [14] BROŽEK, M.: Strojírenská technologie I (návody na cvičení). PRAHA: ČZU,2008. 80 s. ISBN 978-80-213-1780-2.
- [15] Průmyslová radiologie - principy. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/54/rt\\_principy.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/54/rt_principy.pdf)
- [16] Zdroje záření. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/56/zdroje\\_zareni.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/56/zdroje_zareni.pdf)
- [17] Radiografie. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: <http://www.ndt.cz/prilohy/57/radiografie.pdf>
- [18] Radioskopie. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: <http://www.ndt.cz/prilohy/58/radioskopie.pdf>

- [19] Počítačová rentgenová tomografie. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: <http://www.ndt.cz/prilohy/61/tomografie.pdf>
- [20] Principy akustické emise. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-26] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/49/emise\\_principy.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/49/emise_principy.pdf)
- [21] NETUŠIL, T.: Počítačová RTG tomografie. NDT Welding Bulletin. 1997, č. 1, s. 40-43. ISSN 1210-7034.
- [22] DUBENSKÝ, R., MINAŘÍK, V., ČERMÁK, F.: Defektoskopie. PRAHA: ČVUT, 1987. 164 s.
- [23] DUBENSKÝ, R., MINAŘÍK, V., ČERMÁK, F.: Defektoskopie - nedestruktivní zkoušení. PRAHA: ČVUT, 1992. 206 s. ISBN 80-01-00844-4.
- [24] Snímače EC. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-27] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/34/snimace\\_ec.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/34/snimace_ec.pdf)
- [25] Postup kapilární zkoušky. Www. NDT. cz [online]. 2009 [cit. 2012-2-28] Dostupné z: [http://www.ndt.cz/prilohy/22/postup\\_kapilarni\\_zk.pdf](http://www.ndt.cz/prilohy/22/postup_kapilarni_zk.pdf)
- [26] SOLNÁŘ, J.: Odmagnetování výrobku. NDT Welding Bulletin. 1995, č. 2, s. 11. ISSN 1210-7034.

## Seznam obrázků:

- obr. 2.1.1 Rozdělení klasických nedestruktivních metod podle typu vad
- obr. 2.2.1 Snímek ruky Berthy Röntgenové, jeden z prvních rentgenových snímků [1]
- obr. 2.3.1 Postup nedestruktivní kapilární zkoušky [25]
- obr. 2.3.2 Hliníková měrka [1]
- obr. 2.4.1 Vznik rozptylového toku nad vadou [3]
- obr. 2.4.2 Závislost velikosti rozptylového toku na tvaru trhliny [3]
- obr. 2.5.1 Zkoušení metodou vířivých proudů, a - metoda s příložnou cívkou, b - metoda s průchozí cívkou [22]
- obr. 2.5.2 Absolutní snímač [24]
- obr. 2.5.3 Diferenční snímač [24]
- obr. 2.7.1 A-, B- a C sken [9]
- obr. 2.7.2 Průchodová metoda zkoušení 1,(2) - vysílací (přijímací) sonda
- obr. 2.7.3 Princip odrazové metody [23]
- obr. 2.8.1 1- prozařovaný předmět, 2 - zdroj ionizujícího záření, 3 - makrostrukturní porucha materiálové celistvosti, 4 - zobrazovací rovina detektoru záření [23]
- obr. 3.3.1 Možnosti použití Phased array [11]
- obr. 3.3.2 Princip metody TOFD [1]
- obr. 3.4.1 Schematický princip počítačové rtg tomografie [21]