

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

MODERNÍ DIAGNOSTICKÉ METODY POUŽÍVANÉ V DEFEKTOSKOPII

MODERN DIAGNOSTIC METHODS USE IN DEFECTOSCOPY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ZDENĚK VÍTÁMVÁS

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MARTIN JULIŠ, Ph.D.

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Zdeněk Vítámvás

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Moderní diagnostické metody používané v defektoskopii

v anglickém jazyce:

Modern diagnostic methods use in defectoscopy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Literární rešerše shrnující současné moderní metody používané při nedestruktivním testování materiálů.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Literární rešerše základních metod používaných v defektoskopii
- 2) Přehled nových metod a postupů používaných v nedestruktivním testování materiálů

Seznam odborné literatury:

- [1] Kopec, B. a kol.: Nedeštruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí, CERM, s.r.o., Brno, 2008
- [2] The NDT Database & Journal, dostupné z URL <http://www.ndt.net/>
- [3] NDT Welding Bulletin, dostupné z URL <http://www.ndtwelding.cz/>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Martin Juliš, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 14.11.2008

L.S.

prof. RNDr. Jaroslav Cihlář, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Současná nedestruktivní defektoskopie nabízí rozmanité způsoby odhalování vad materiálu. Zvolením vhodné metody či vhodné kombinace zkoušek lze s dostatečnou přesností zjistit polohu a velikost vady. Pro vyšší pravděpodobnost odhalení defektu a jednodušší obsluhu a vyhodnocení jsou však stále vyvíjeny nové způsoby kontroly. V této práci jsou shrnuty jak běžně používané metody defektoskopie, tak i metody moderní, zatím méně rozšířené. Jsou zde popsány jejich principy, průběhy zkoušení, vhodnost použití a zmíněny jsou i další obecné informace.

KLÍČOVÁ SLOVA

defektoskopie, nedestruktivní zkoušení, vady materiálu, vizuální kontrola, kapilární zkoušky, magnetická metoda, metoda vířivých proudů, ultrazvuková kontrola, prozařování

ABSTRACT

Nowadays non-destructive testing offers various ways to detection defects in material. By selecting of suitable method or suitable combination of tests we can locate the defect and determine size of defect with sufficient accuracy. For higher probability of detect defects and for easier operation and evaluation are still evolve new ways of inspection. There are summarizes both ordinarily and modern methods using in defectoscopy in this work. There are describe its principles, courses of testing, suitability of use and there are drop next general information.

KEY WORDS

defectoscopy, non-destructive testing, defects of material, visual inspection, penetrant testing, magnetic testing, eddy current testing, ultrasonics testing, radioscopy

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VÍTÁMVÁS, Z. Moderní diagnostické metody používané v defektoskopii. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 32 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Juliš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně citoval. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana FSI VUT v Brně.

V Brně 21. 4. 2009

Zdeněk Vítámvás

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinovi Julišovi, Ph.D. za přínosné konzultace, cenné rady a připomínky při tvorbě této práce.

Obsah

1 Úvod	1
1.1 Nedestruktivní testování jako záruka kvality produktu a bezpečnosti...	1
1.2 Historie zkoušek nedestruktivní kontroly	1
1.2.1 Magnetická metoda	1
1.2.2 Prozařovací metoda	1
1.2.3 Kapilární zkoušky	2
1.2.4 Metoda vířivých proudů	2
1.2.5 Ultrazvuková kontrola	2
2 Vady materiálů a součástí	3
2.1 Definice vad	3
2.2 Vady typické pro různé technologie výroby	3
3 Metody nedestruktivního zkoušení	6
3.1 Dělení základních metod nedestruktivního zkoušení	6
3.2 Detekce povrchových vad	7
3.2.1 Vizualní metody	7
3.2.1.1 Přímá vizualní kontrola	7
3.2.1.2 Nepřímá vizualní kontrola	7
3.2.1.3 Hodnocení vad při vizualní kontrole	9
3.2.1.4 Moderní trendy vizualní kontroly	9
3.2.2 Kapilární zkoušky	10
3.2.2.1 Rozdělení kapilárních metod	10
3.2.2.2 Rozdělení kapilárních prostředků	10
3.2.2.3 Průběh zkoušky	12
3.2.2.4 Moderní trendy kapilárních metod	13
3.2.3 Magnetická metoda prášková (polévací)	14
3.2.3.1 Základní způsoby magnetizace	15
3.2.3.2 Přístroje	17
3.2.3.3 Magnetické prášky a detekční suspenze	17
3.2.3.4 Měrky	18
3.2.3.5 Odmagnetování	19
3.2.3.6 Vyhodnocení zkoušky	19
3.2.4 Magnetická metoda rozptylových polí	19
3.2.4.1 Zařízení pro testování rozptylovými poli	19
3.2.5 Metoda vířivých proudů	21
3.2.5.1 Uspořádání cívek	22
3.2.5.2 Výhody a nevýhody testování vířivými proudy	23
3.2.5.3 Moderní trendy kontroly vířivými proudy	23
3.3 Detekce vnitřních vad	24
3.3.1 Ultrazvuková kontrola	24
3.3.1.1 Sondy	25
3.3.1.2 Frekvence	25
3.3.1.3 Tloušťkoměry	25
3.3.1.4 Moderní metody kontroly ultrazvukem	26
3.3.2 Kontrola prozařováním	27

3.3.2.1	Zdroje ionizujícího záření.....	27
3.3.2.2	Detekce záření.....	28
3.3.2.3	Hodnocení kvality obrazu.....	29
3.3.2.4	Moderní trendy kontroly prozařováním.....	29
4	Závěr.....	31
	Literatura.....	32

1 Úvod

1.1 Nedestruktivní testování jako záruka kvality produktu a bezpečnosti

Zkoušení kvality výrobků patří neodmyslitelně k jakékoliv průmyslové výrobě. Zaručuje se tak jakost, bezproblémové používání, či bezpečnost daného produktu. Zkouší se však nejen nově vyrobené součásti, ale ve stejné míře i dlouho pracující součásti, u kterých hrozí defekty způsobené například únavovým porušením. Tím lze předcházet nečekaným haváriím strojů, objektů, a co je nejdůležitější, můžeme zabránit i tragédiím spojených se ztrátami lidských životů. Při těchto kontrolách se s výhodou používají nedestruktivní způsoby testování (NDT), které šetří čas i peníze.

Problematikou nedestruktivního zkoušení se lidé začali zabývat s vyvíjejícím se průmyslem již v polovině 19. století. Během mnoha let bádání bylo objeveno velké množství způsobů testování, které byly postupem času vylepšovány, aby poskytly co nejpřesnější informace o vadách.

Cílem této práce je vytvoření literární rešerše, shrnující základní, současně používané metody defektoskopie, a popsat nové trendy nedestruktivního zkoušení materiálů.

1.2 Historie zkoušek nedestruktivní kontroly

1.2.1 Magnetická metoda

S prvním pokusem využití magnetismu pro zjišťování vad v materiálu se setkáváme již v roce 1868. Tehdy S. M. Saxby přišel s myšlenkou, aby se ocel pro hlavně děl a pušek zkoumala magneticky. Jeho pokusy však byly na dlouhou dobu zapomenuty a zpět k této metodě se vrátil až fyzik C. W. Burrowsem na začátku dvacátého století. Průmyslové užití bylo zavedeno až po roce 1929 Viktorem de Forestem a Posterem Doanem, kteří založili společnost Magnaflux, jež stále existuje. U zrodu magnetické metody práškové stál i český vědec Ing. Karásek [1].

1.2.2 Prozařovací metoda

Zkoušení materiálu prozařováním má své kořeny v roce 1895, kdy W.C. Röntgen (obr. 1) objevil záření X. Jeho experimentální práce vedly k prvním lékařským, ale i technickým rentgenogramům, tzv. piktogramům. Prvním snímkem dnešní moderní defektoskopie prozařováním se stal piktogram hlavně brokovnice profesora W. C. Röntgena. V roce 1915 se W. P. Dawey zabývá rentgenografickým zkoušením ocelových odlitků. Prozařovací metodu defektoskopie propracovává v roce 1928 Berthold. Zkoušení zářením se také provádělo radioaktivními izotopy, jež používal Rudolf Berthold pro zkoušení svařovaných spojů [1].



Obr. 1 W.C. Röntgen [9]

1.2.3 Kapilární zkoušky

Už za císaře Franze Josefa I. v Rakousku-Uhersku se začala používat kontrolní metoda nazývaná petrolejová zkouška. Pro zjišťování trhlin v železničních součástech se využívala metoda „petrolej a bělení“, avšak její autoři nejsou známí. Metoda byla nahrazována magnetickými zkouškami. Až během druhé světové války, kdy letectvo začalo využívat stále častěji nemagnetické materiály, přišli na trh firmy nabízející fluorescenční a barevné detekční tekutiny [1].

1.2.4 Metoda vířivých proudů

Princip vířivých proudů objevil Dominique Arago během první poloviny 19. století. Metoda vychází z Faradayových objevů elektromagnetické indukce, magneticko-optického efektu, elektromagnetické rotace a mnoha dalších jeho poznatků. Již před rokem 1950 začal Friedrich Foster s vývojem vysoce citlivých měřících přístrojů magnetického pole. V roce 1963 je zařízení od firmy Foster instalováno na družici, se kterou Mariner II prozkoumal magnetické pole Venuše [1].

1.2.5 Ultrazvuková kontrola

Již v roce 1794 uvedl Lazzaro Spallanzani teorii, že se netopýři orientují ve tmě za pomoci zvukových vibrací. Tuto myšlenku potvrdili až o 250 let později Gallambos a Griffin. Další cenné zjištění učinili v roce 1880 bratři Pierre a Jacques Curie, jenž popsali piezoelektrický jev. Tím byl dán základ pro konstrukci přístrojů, vytvářející a registrující ultrazvukové frekvence. Zakladatelem ultrazvukové defektoskopie se stal v roce 1929 ruský vědec Sokolov. První ultrazvukový impulsní defektoskop sestrojil v r.1940 Firestone. Historie ultrazvukového zkoušení je spjata také s firmou Krautkrämer, kterou zpočátku tvořili dva bratři, kteří v roce 1949 určili směr pro další vývoj defektoskopů. Jeden z jejich přístrojů je zobrazen na obr. 2. Ultrazvukové defektoskopy vyvinuli také Karl Deutsch, Siemens, Lehfeldt a Kretz [1].



Obr. 2 Testování ultrazvukovým přístrojem Krautkrämer [10]

2 Vady materiálů a součástí

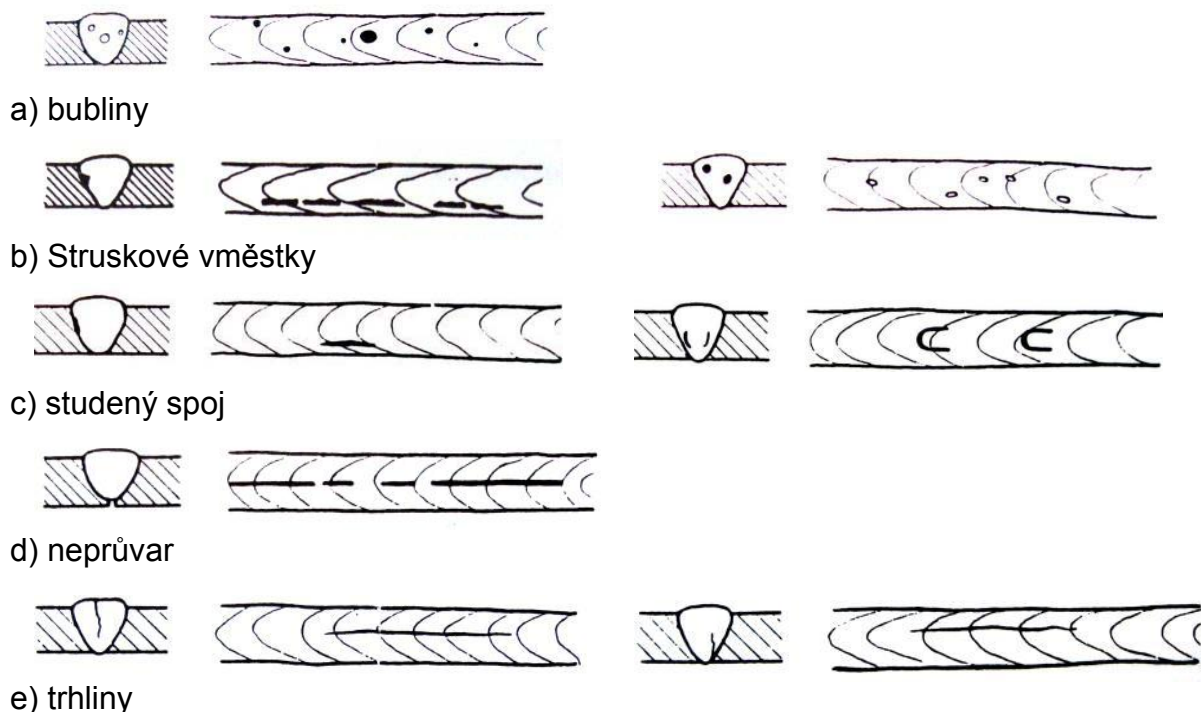
2.1 Definice vad

Pod pojem vady zahrnujeme různorodé odchylky od předepsaného požadavku na výrobek, ať už to jsou odchylky od rozměrů, tvaru, barvy atd. Pro účely NDT rozumíme vadami zejména odchylky od chemického složení, struktury a necelistvosti materiálu [3].

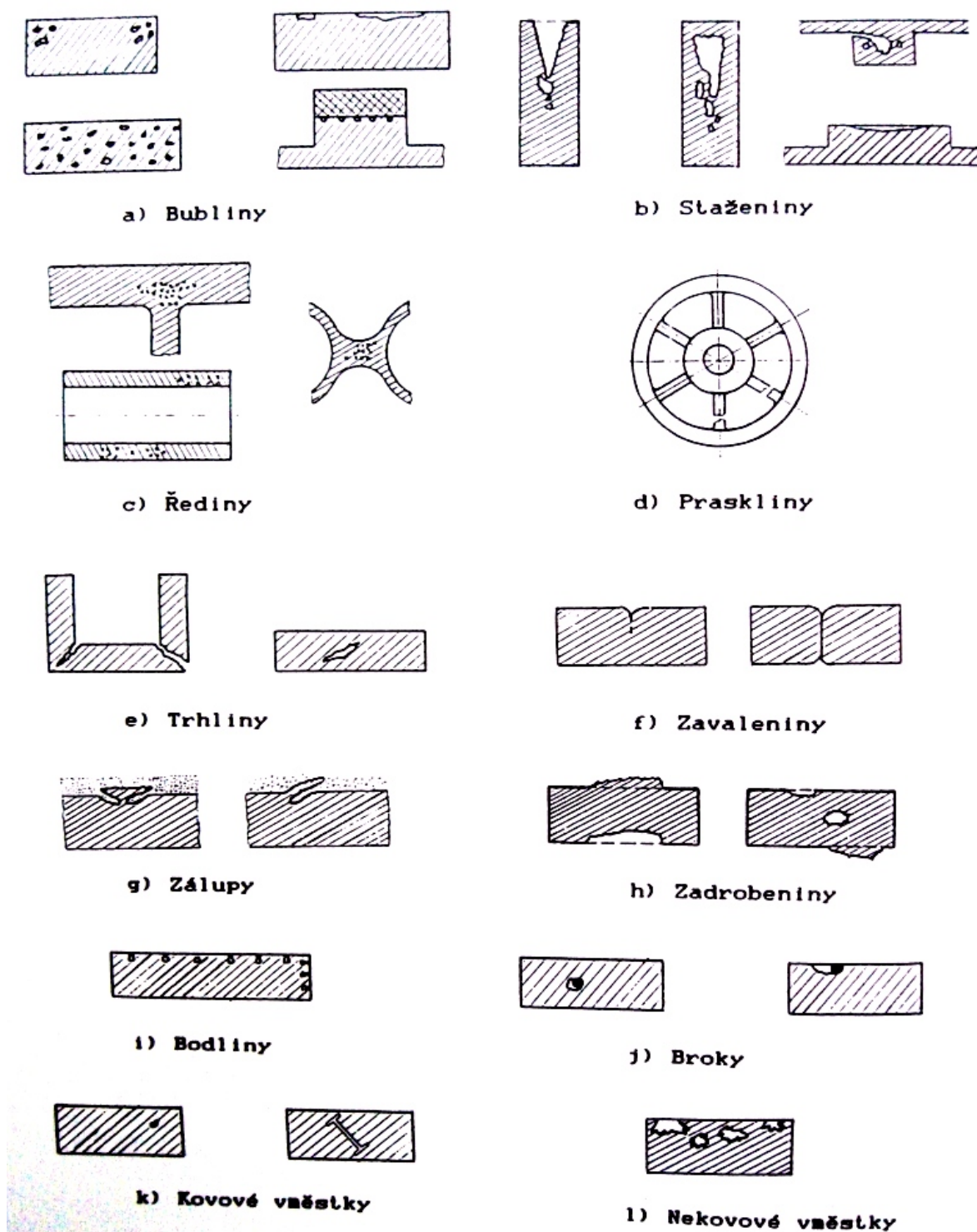
Vady můžeme dělit dle místa výskytu na vady povrchové a na vady vnitřní. Povrchové vady jsou v přímém kontaktu s povrchem součásti. Jsou zjistitelné metodou vizuální, kapilární, případně magnetickou. Vnitřní vady jsou ukryty uvnitř materiálu. Nemají s povrchem jakýkoliv kontakt a tudíž je pro jejich hledání nutné použít ultrazvuk nebo metodu prozařovací.

2.2 Vady typické pro různé technologie výroby

Pro různé technologie výroby součástí existují typické vady výrobku. Pro názornost jsou na obr. 3 prezentovány typické vady svařovaných výrobků (např. studený spoj, struskové vměstky, atd.). Na obr. 4 pak vady součástí po odlévání – bubliny, staženiny, řediny apod. a na obr. 5 vady tvářených součástí.



Obr. 3 Vady svařovaných součástí [3]



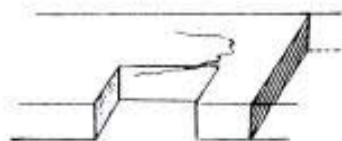
Obr. 4 Vady odlitků [3]



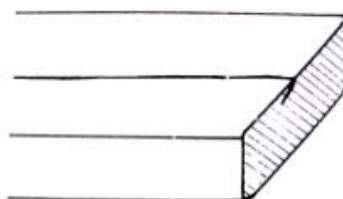
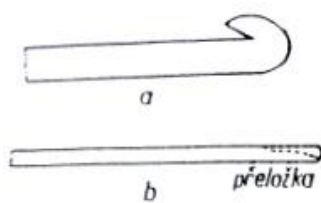
trhliny na hranách



rýha



rozválcovaná šupina

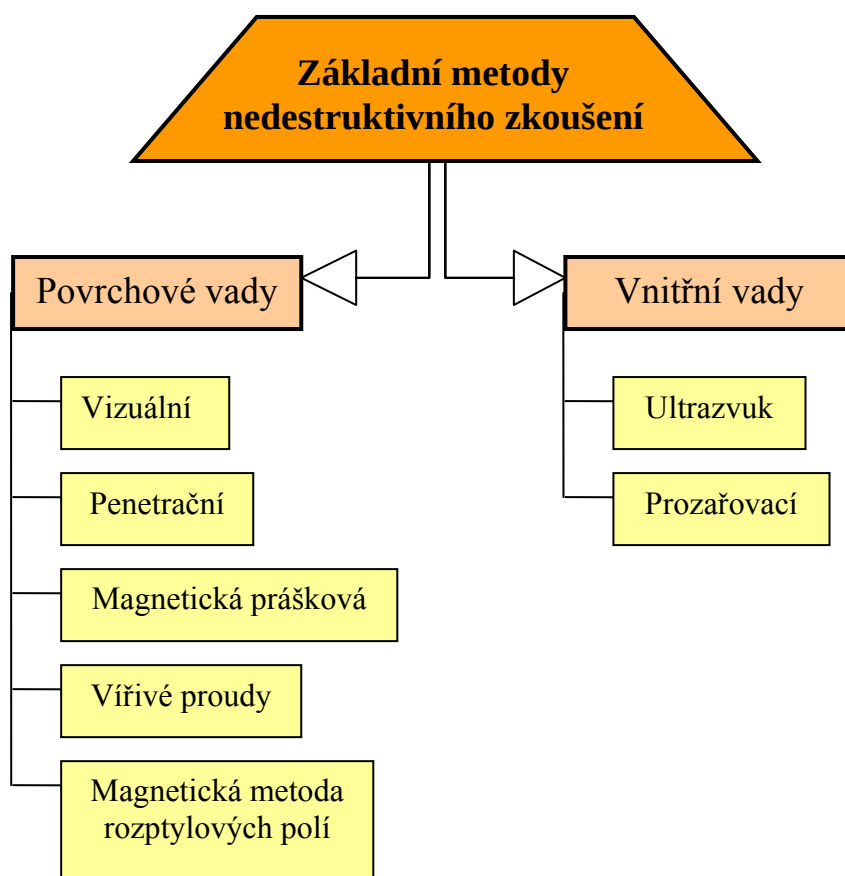


Obr. 5 Vady tvářených součástí [3]

3 Metody nedestruktivního zkoušení

3.1 Dělení základních metod nedestruktivního zkoušení

Jednotlivé metody NDT můžeme dělit z hlediska typu vady, kterou chceme hledat, tedy zda chceme nalézt povrchovou vadu nebo vadu skrytou uvnitř součásti. Podle toho potom volíme jednu z metod v obr. 6.



Obr. 6 Rozdělení základních metod nedestruktivního zkoušení

3.2 Detekce povrchových vad

3.2.1 Vizuální metody

Jedná se o jednoduchý a levný způsob kontroly povrchových vad prostým zrakem nebo pomocí optických pomůcek. Pro řádné provádění vizuální kontroly je třeba splnit několik základních podmínek [1, 3]:

- pracoviště musí být dostatečně osvětleno
- dobrý zrak pracovníka (nutno lékařsky ověřit)
- pracovník musí mít potřebné znalosti o výskytu a přípustnosti vad na výrobcích
- prohlížený povrch musí být řádně očištěn

Vizuální kontrolu dělíme na přímou a nepřímou, a to podle přístupnosti kontrolovaných míst.

3.2.1.1 Přímá vizuální kontrola

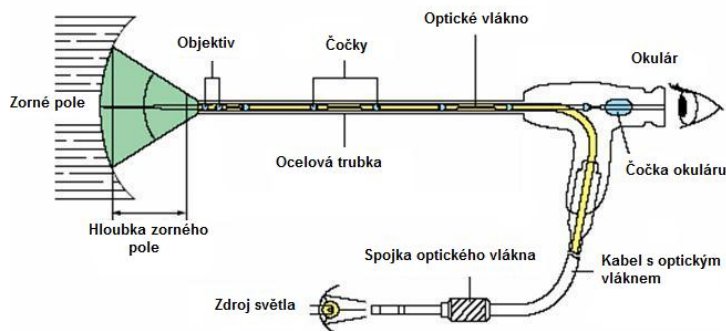
Nejjednodušší kontrola, která se provádí buď prostou prohlídkou, případně za pomoci lupy (zvětšení 3 až 6 krát) nebo mikroskopu s malým zvětšením [3].

3.2.1.2 Nepřímá vizuální kontrola

V případě, kdy je místo špatně přístupné, ať už z důvodu geometrie nebo pro ohrožení zdraví pracovníků, a nemůžeme vady kontrolovat okem (vnitřek nádob, trubek, chemicky nebo radioaktivně zamořené prostory, ...), využíváme nepřímé vizuální kontroly. Ta spočívá ve využití endoskopů. Endoskopy dělíme podle konstrukce na tuhé a ohebné [3].

Tuhé endoskopy (boroskopy)

V tuhých endoskopech je obraz přenášen klasickou optickou soustavou. Boroskopy mají optický systém zabudovaný do tenkostěnných pevných trubkových nástavců, jak je znázorněno na obr. 7. Délku těchto nástavců lze přizpůsobit rozměrům kontrolovaného předmětu. U některých typů endoskopů lze nástavce spojovat v různém sklonu, takže výsledný systém může být několikrát zalomený. Dále lze vyměňovat objektivové osvětlovací nástavce a tak nastavit vhodný směr pozorování (ve směru osy, kolmo na osu apod.). Vyznačují se vysokou rozlišovací schopností a vysokou světelností. Pro kontrolování velmi úzkými otvory se vyrábí miniboroskopy s vnějším průměrem i 0,9 mm. Několik těchto přístrojů je prezentováno na obr. 8 [1, 3, 11].



Obr. 7 Schéma boroskopu [11]



Obr. 8 Miniboroskopy [11]

Ohebné endoskopy (fibroskopy)

V těchto přístrojích se pro pozorování i osvětlování užívají vláknové světlovody, tvořené svazkem jemných skleněných vláken. Světlovody lze do určité míry ohýbat, jak je patrné z obr. 9. To umožňuje i kontrolu míst nepřístupných pro tuhé endoskopy. Konec fibroskopu je opatřen výměnným objektivem, který lze dálkově ovládat a natáčet do požadovaného směru. Podle typu endoskopu a optiky je možné pozorovat vyšetřovanou oblast ve směru vzhledem k ose pod úhlem 0° nebo 90° a ve vzdálenosti od 1 mm do nekonečna při různém zorném úhlu a zvětšení. Vyrábějí se od průměru asi 1 mm. Nevýhodou vláknové optiky je, že vyvolává určité rastrování obrazu, takže pozorování je obtížnější než u endoskopů pevných [1, 3].



Obr. 9 Fibroskop [11]

Videoskopy

Tyto přístroje se používají obdobně jako fibroskopy, avšak tam, kde je požadován obraz v nejvyšší kvalitě ať z hlediska rozlišování nebo z hlediska maximální věrnosti barev. Pro přenos obrazu slouží miniaturní CCD čip umístěný na konci endoskopu. Videoskopy mají výhody fibroskopů tzn. ohebnost, dálkové ovládání (až 30 m) a možnost měnit optické parametry. Zkoumaná oblast se pozoruje na barevném TV monitoru a umožňuje pořízení videozáznamu. Jako příslušenství jsou při kontrolách používány různé háky, nůžky atd. Jeden z vyráběných přístrojů je zobrazen na obr. 10 [1].



Obr. 10 Videoskop [8]

3.2.1.3 Hodnocení vad při vizuální kontrole

Hodnocení vad se většinou provádí prohlídkou a porovnáním podle vnějších znaků vad, například porovnáním s reprezentativními vadami, nebo podle katalogu vad, srovnávacích etalonů vad apod.

Další možné hodnocení sestává z prohlídky a měření parametrů vad podle stanovených pravidel (norma, předpis, specifikace apod.). Měření můžeme dělit na měření skutečných hodnot, kdy zjišťujeme skutečný rozměr výrobku v příslušných jednotkách, a na měření porovnávání, kdy zjišťujeme, zda rozměry výrobku nepřesahují mezní hodnoty [8].

3.2.1.4 Moderní trendy vizuální kontroly

Jak už vyplývá z principu, výrazný rozvoj přímé kontroly není příliš možný. U nepřímé kontroly se potom vývoj ubírá cestou zdokonalování videoskopů. Zvyšuje se rozlišovací schopnost přístroje a snaha je též o přesnější vyhodnocování geometrických rozměrů vady.

Jeden z nejnovějších způsobů jak určovat velikost vady je metoda stereoskopická. Ta je založena na počítání obrazových bodů – pixelů a na výpočtu měřítka. Princip je obdobný vnímání objektů lidským zrakem. Snímají se dva stranově posunuté obrazy. Pro kalibraci se označí na obou obrazech stejný bod a po označení dalšího libovolného bodu se vzdálenost mezi označenými body přepočítá na milimetry. Po kalibraci se pak při označení bodu na jednom obraze automaticky označí totožný bod i na druhém obraze. Přesnost odečítání rozměrů bývá do 10% [2].

Dalším typem jsou průmyslové 3D endoskopy. 3D metoda spočívá také v použití stereoskopických obrazů. Dílčí obrazy obou kamer se v rychlém sledu střídavě zobrazují na monitor (50x za sekundu). Obsluha musí mít střídavě zatmívané brýle. Když je zobrazena na monitoru pravá část obrazu, brýle zakryjí výhled levému oku a naopak. V mozku pozorovatele se pak z obou obrazů vytváří vjem prostorového obrazu [2].

3.2.2 Kapilární zkoušky

Tato metoda využívá vztlínivosti a smáčivosti vhodných kapalin, zvaných penetranty, jejich barevnosti nebo fluorescence.

Penetrační metoda je velmi citlivá. Zkouška slouží ke zjišťování povrchových necelistvostí materiálu, jako například trhlin, studených spojů apod. Z jejího principu plyne, že ji lze použít pro materiály kovové i nekovové a lze zjišťovat povrchové vady různých orientací.

U mělkých prostorových vad (bublin), které se na povrch široce rozevírají je výsledek většinou neuspokojivý, neboť nelze zabránit vymytí penetrantu z vady při odstraňování jeho přebytku z povrchu výrobku. Zkoušet nelze též materiály pórovité a takové, které jsou penetrantem narušovány (např. některé plasty) [1].

3.2.2.1 Rozdělení kapilárních metod

a) Metoda barevné indikace

Přítomnost necelistvostí se projeví vznikem kontrastní barevné indikace (většinou červené na bílém podkladě). Tyto indikace se hodnotí v denním nebo umělém bílém světle.

b) Metoda fluorescenční

Přítomnost necelistvostí se projeví vznikem indikace, která v ultrafialovém záření (tzv. černé světlo) světélkuje, většinou žlutozeleně.

c) Metoda dvojúčelová

Přítomnost necelistvostí se projeví buď barevnou nebo fluorescenční indikací, podle toho jaký druh osvětlení zvolíme (bílé nebo UV světlo).

3.2.2.2 Rozdělení kapilárních prostředků

Mezi kapilární prostředky používané při testování řadíme penetranty, vývojky, čističe a emulgátory. Všechny tyto prostředky dohromady tvoří kapilární soubor (set), který má být vždy od jednoho výrobce. Příklad takového setu můžeme vidět na obr. 11.



Obr. 11 Kapilární prostředky [13]

1) penetranty (detekční kapaliny)

Kapalina, která se nanáší na povrch zkoušeného materiálu, vniká do povrchových necelistvostí a po odstranění přebytku penetrantu vztlíná na povrch a necelistvosti zviditelňuje.

Penetranty dělíme dle [1]:

- typu indikace:
 - a) penetranty barevné - výrazný barevný kontrast s bílou vývojkou
 - b) penetranty fluorescenční – světélkují při ozáření ultrafialovými paprsky
 - c) penetranty dvojúčelové – obsahující luminosfór, který je zároveň barvivem. Penetrant pak může být použita jako barevný nebo jako fluorescenční
- smytelnosti penetrantu vodou:
 - a) penetranty nesmytelné
 - b) penetranty smytné
- obsahu emulgátoru v penetrantu:
 - a) penetranty emulgační - obsahují emulgátor, který je spolu s penetranem vnášen do nečistostí
 - b) penetranty postemulgační (následně emulgované) - emulgátor se nanáší na přebytek penetrantu, až po uplynutí penetračního času, takže v nečistosti proniká pouze penetrant, který není emulgátorem ovlivněn

Důležité vlastnosti penetrantu [1]:

- Penetrační schopnost – vlastnost kapaliny rychle pronikat do nečistostí a udržet se v nich. Závisí na řadě dalších činitelů a to především na nosném médiu, viskozitě penetrantu, smáčivosti a povrchovém napětí daného penetrantu
- Těkavost – má být co nejmenší
- Bod vzplanutí – požadavek je, aby bod vzplanutí byl vyšší než 50°C
- Chemická netečnost – penetranty musí být netečné a nekorozivní ke zkoušenému materiálu
- Rozpouštěcí schopnost nosného média – nosné kapaliny penetrantů musí být dobrými rozpouštědly barviva nebo luminosfóru
- Toxicita a zápach – nesmí škodit lidskému organismu

2) vývojky

Jsou to činidla, která se po odstranění přebytku penetrantu nanáší na zkoušený povrch předmětu, kde napomáhá vzlínání penetrantu z nečistostí a společně s ním vytváří kapilární indikace. Základem vývojky je prášková složka bílé barvy a jemného zrnění a druhou složkou je nosné prostředí (vzduch, voda, aceton, líh, benzin aj.).

Rozdělení vývojek dle druhu nosného prostředí [1]:

- a) suché vývojky – nosným prostředím je vzduch nebo jiný vhodný plyn. Vývojky se na povrch naprašují.
- b) mokré vývojky těkavé – prášková složka vývojky je rozptýlena v těkavém rozpouštědle, např. v acetonu. Na povrch je nanášena pistolemi, spreji, rozprašovači apod.
- c) mokré vývojky vodné – prášková složka je rozmíchaná ve vodě, která navíc obsahuje smáčidlo, příp. retardační přísady. Vývojky se většinou předehřívají na 65°C a nanášejí se na povrch ponořením do vývojkové lázně. V tomto případě odpadá sušení povrchu po oplachu vodou při odstraňování přebytku penetrantu.

Požadované vlastnosti vývojek:

- výborná sorpční schopnost – napomáhá vztlínání penetrantu z necelistvostí
- jemná zrnitost – aby indikace vad byly ostře ohraničené a výrazné
- musí co nejvíce maskovat barvu pozadí, tj. barvu povrchu materiálu
- musí se snadno smáčet detekční kapalinou
- musí být snadno odstranitelná z povrchu součásti
- nesmí poškozovat zkoušený materiál

3) čističe (odmašťovače a rozpouštědla) [1]

Odmašťovač je organické (benzin, aceton aj.) nebo neorganické (louh sodný nebo draselný ve vhodném zředění) činidlo odstraňující tuk nebo olej z povrchu zkoušeného předmětu před nanesením detekční kapaliny.

Čistič je kapalina sloužící k odstranění penetrantu z povrchu zkoušeného předmětu nebo k odstranění nežádoucího pozadí. Základem je organické rozpouštědlo, často kombinované s emulgátorem.

4) emulgátory [1]

Jsou to povrchově účinné látky, usnadňující rozptýlení pevných nebo kapalných látek v kapalině v níž se normálně nerozpouštějí. V kapilárních zkouškách emulgátory usnadňují odstranění přebytku penetrantu z povrchu zkoušeného materiálu.

Základní druhy:

- a) emulgátory lipofilní – rozptýlené v tucích, nejsou rozpustné ve vodě. V její přítomnosti však vytvářejí emulzi s detekční kapalinou. Jejich zbytky v odpadních vodách po kapilární zkoušce nejsou biologicky odbouratelné.
- b) emulgátory hydrofilní – v detekční tekutině se nerozpouštějí, rozpouštějí se však ve vodě. V přítomnosti penetrantu vytvářejí s vodou emulzi. Jsou biologicky odbouratelné.

Požadavky na emulgátory:

- musí snadno reagovat s detekční kapalinou na zkoušeném povrchu
- musí být vhodný i pro použití ve velkých otevřených nádržích, proto musí mít vyšší bod vzplanutí, nízkou těkavost, nepatrný zápach a být nejedovatý

3.2.2.3 Průběh zkoušky [3]:

Zkouška se skládá z pěti základních kroků, které jsou podrobněji popsány v následujících odstavcích.

a) Příprava povrchu (obr. 12)

Základní podmínkou pro zkoušení je čistý, suchý a odmaštěný povrch. Necelistvosti musí být zbaveny všech nečistot, aby do nich mohla pronikat detekční tekutina (penetrant). Nebezpečná je přítomnost vody v necelistvosti, která se s většinou penetrantů nemísí a brání v zjištění necelistvosti.



Obr. 12 Mechanické očištění povrchu [7]

b) Nanesení penetrantu

Na povrch materiálu se nanese penetrant (viz. obr. 13) a nechá se působit 5 až 15 minut, aby pronikla do necelistvostí. Penetrační tekutina musí mít nízké povrchové napětí, aby dobře pronikla do necelistvostí. Nanášení se provádí štětcem, stříkací pistolí, ponořením předmětu do kapaliny, případně nástřikem kapaliny v aerosolním balení.

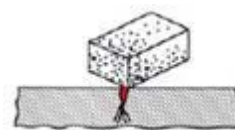


Obr. 13 Nanesení penetrantu [7]

c) Odstranění penetrantu z povrchu (obr. 14)

Přebytečný penetrant nutno z povrchu odstranit tak, aby nedošlo k jeho vymytí z necelistvostí. Používá se několik způsobů:

- o Otření suchou látkou
- o Očištění rozpouštědlem
- o Oplach vodou
- o Použití emulgátorů



Obr. 14 Odstranění přebytečného penetrantu [7]

d) Vyvolání

Na povrch očištěný od zbytku penetrantu se nanese vývojka (obr. 15). Následně dojde ke vzlínání penetrantu z vad směrem k povrchu a barevné indikaci ve vývojce.



Obr. 15 Nanesení vývojky [7]

e) Hodnocení indikací

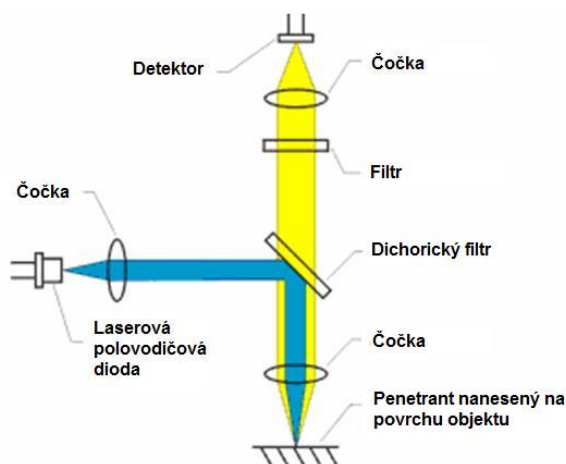
Provádí se obvykle dvakrát. Poprvé ihned po nanesení vývojky, kdy se zachytí velké vady, jejichž kresba by byla po delší době málo zřetelná. Podruhé asi za 15 minut, kdy se projeví jemné necelistvosti. Použije-li se fluorescenční penetrant, provádí se hodnocení v zatemněném prostoru v tzv. černém světle.

3.2.2.4 Moderní trendy kapilárních metod

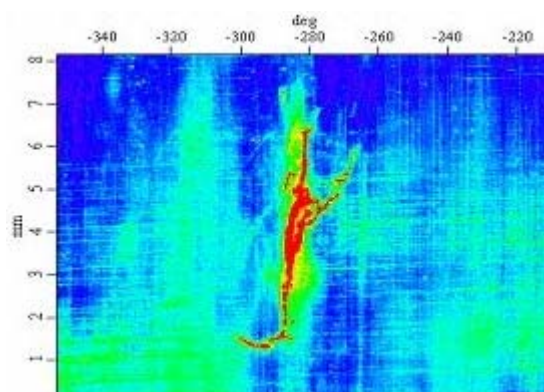
Kapilární skenovací metoda

Jednou z nových penetračních metod je tzv. metoda LSPI (Laser scanned penetrant inspection), neboli kapilární skenovací metoda, vyvinuta společností LTC. Na obr. 16 je schématicky znázorněn princip zkoušení. K osvětlení povrchu tělesa je využit fokusovaný optický svazek laserové polovodičové diody s ultrafialovým spektrem. Po dopadu tohoto paprsku na fluorescenční povrch dopadá optický svazek

na dichorický (barevný) filtr, kde je odfiltrována ultrafialová složka záření. Poté dopadá paprsek na detektor. Tím může být i CCD kamera, což nám umožní získat digitální fotografie o vysokém rozlišení a pomocí software určit velikost vady, jak je znázorněno na obr 17. Tím odpadá subjektivní hodnocení jako při klasické kapilární zkoušce. Uvedená metoda umožňuje rozlišit bod o velikosti 0,025 mm [2, 12].



Obr. 16 Schéma metody LSPI [12]



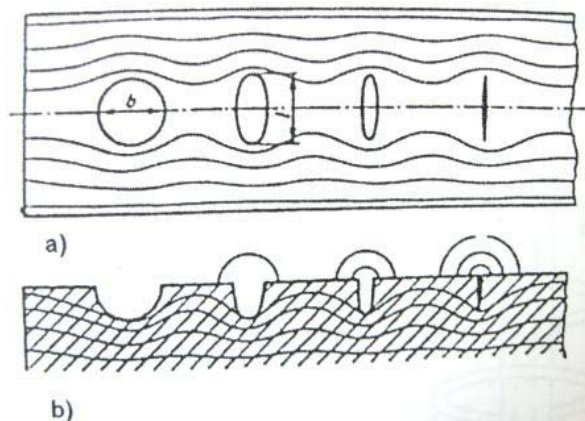
Obr. 17 Zobrazení vady [12]

3.2.3 Magnetická metoda prášková (polévací)

Magnetická metoda prášková slouží jednak, podobně jako metoda penetrační, ke zviditelnění povrchových vad, a dále i k odhalení vad těsně pod povrchem, tedy vad přímo nespojených s povrchem součásti. Tato metoda neklade takové nároky na čistotu povrchu zkoušeného materiálu a necelistvosti mohou být vyplněny nemagnetickým materiálem. Touto metodou mohou být však zkoušeny pouze feromagnetické materiály [3].

Princip metody

Je-li ve zmagetizovaném kusu necelistvost přibližně kolmá na směr magnetického pole, dochází v okolí vady k deformaci siločar, které nad vadou částečně vystupují nad povrch a vytváří tzv. magnetické rozptylové pole vady. Naneseme-li na zmagetizovaný předmět jemný magnetický prášek, zachytí se působením rozptylového pole na povrchu a vykreslí tvar vady. Vady rovnoběžné se směrem magnetického pole a vady hlouběji umístěné v materiálu se neprojeví. Velikost rozptylového pole závisí také na velikosti a tvaru vady. Tato závislost je znázorněna na obr. 18. Největší rozptylové pole vzniká u necelistvostí úzkých a dlouhých, nejmenší naopak u vad přibližně kulových [3].



Obr. 18 Závislost velikosti rozptylového pole na tvaru vady [1]

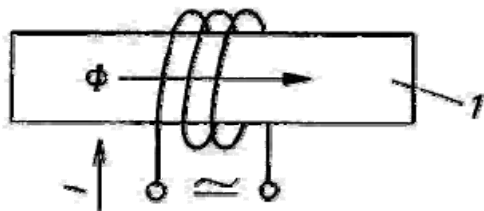
3.2.3.1 Základní způsoby magnetizace

Rozeznáváme dva hlavní způsoby magnetizace, a to magnetizaci pólovou a magnetizaci proudovou. V prvním případě se na koncích, nebo alespoň na části zkoušeného materiálu vytvoří magnetické póly. Tímto způsobem zjišťujeme vady příčné, tedy vady kolmé na směr osy předmětu. U proudové magnetizace v předmětu nevznikají výrazné magnetické póly, ale magnetické pole tvoří uzavřené dráhy, jejichž roviny jsou kolmé ke směru proudu. Proud protéká předmětem ve směru jeho podélné osy, čímž je vytvořeno magnetické pole příčné a tímto způsobem tedy můžeme zjišťovat vady podélné. U tohoto způsobu magnetizace se můžeme setkat také s názvem příčné, nebo také cirkulární magnetování [1, 3].

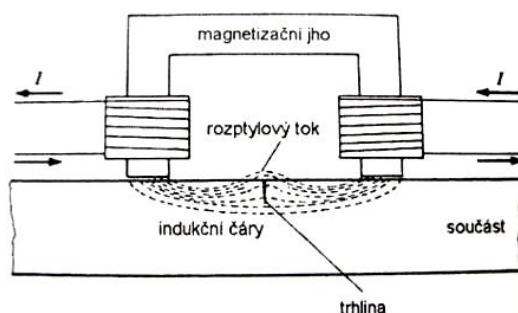
V případě, že je předmět magnetován příčně a zároveň podélně, jedná se o magnetizaci kombinovanou, která je znázorněna na obr. 24. Tímto způsobem lze zjistit jak příčné, tak i podélné vady v jedné operaci, což šetří kontrolní čas.

Pólové magnetizace dosahujeme:

- Cívkou (Obr. 19)
- Pomocí magnetizačního jha (Obr. 20)



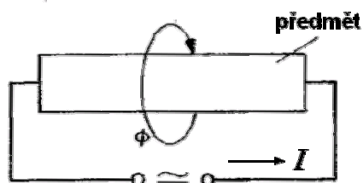
Obr. 19 Magnetizace cívkou [4]



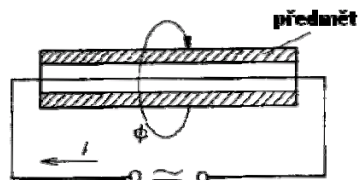
Obr. 20 Magnetizace pomocí magnetizačního jha [1]

Proudové magnetizace lze dosáhnout:

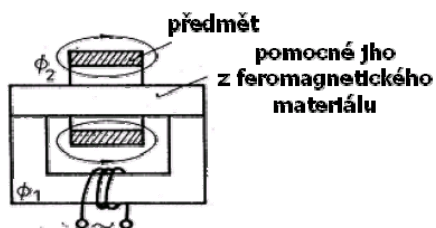
- přímým průchodem proudu (Obr. 21)
- pomocným vodičem (Obr. 22)
- indukcí proudu v kontrolovaném výrobku (Obr. 23)



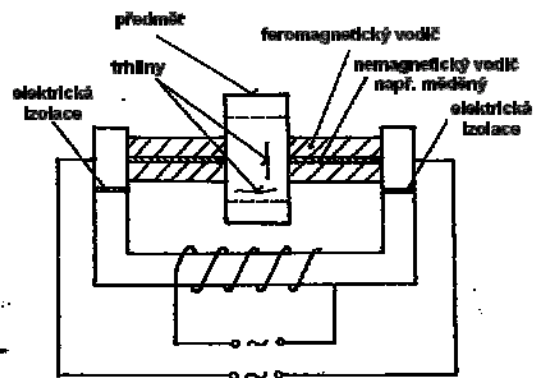
Obr. 21 Magnetizace přímým průchodem proudu [4]



Obr. 22 Magnetizace pomocným vodičem [4]



Obr. 23 Magnetizace indukcí proudu v kontrolovaném výrobku [4]



Obr. 24 Kombinovaná magnetizace [1]

Druhy magnetizace

- stejnosměrným proudem - magnetické pole proniká do hloubky a lze zjišťovat i vady podpovrchové
- střídavým proudem – magnetické pole je sice jen povrchové, ale součást se snadněji odmagnetuje

3.2.3.2 Přístroje

1) Přenosné přístroje

Do této skupiny patří malá jha, podobná přístroji z obr. 25. Ty jsou vybavovány různými typy pólových nástavců, nebo například nástavců s úkosem 45° pro zkoušení koutových svarů [1].



Obr. 25 Magnetizační jho [14]

2) Mobilní proudové zdroje

Je to výkonnější obdoba přenosných proudových zdrojů. Jejich hmotnost se pohybuje od 100kg do 700kg [1].

3) Stacionární přístroje

Zařízení určená pro sériovou provozní kontrolu s kompletní výbavou. Stacionární magnetizační přístroj je prezentován na obr. 26.

Univerzální defektoskop zpravidla obsahuje [1]:

- zařízení pro cirkulární magnetizaci
- zařízení pro pólovou magnetizaci
- upínací zařízení
- čerpadlo detekční tekutiny
- zařízení pro polévání
- vanu pro zachycování detekční tekutiny
- osvětlovací zařízení
- zařízení pro odmagnetování



Obr. 26 Stacionární magnetizační přístroj [7]

3.2.3.3 Magnetické prášky a detekční suspenze

- Magnetický prášek

Složení:

- a) čisté železo
- b) oxidy železa (červený Fe_2O_3 nebo černý Fe_3O_4)

Je možno používat buď suchý prášek (suchý způsob) nebo prášek rozptýlený ve vhodné kapalině. Mokrý způsob je více rozšířen, protože zrnka prášku se lépe pohybují po zkoušeném povrchu. Suchý způsob se spíše užívá u předmětů s drsným povrchem, kde se zjišťují pouze hrubší vady [1].

Základní vlastnosti magnetického prášku:

a) magnetické vlastnosti

Prášek musí být feromagnetický a musí být vyroben z materiálu magneticky měkkého. To znamená, aby po ukončené magnetizaci nezůstával zmagnetovaný.

b) optické vlastnosti

Barvu prášku musíme volit kontrastní vzhledem k povrchu kontrolované součásti. Magnetické prášky se užívají buď v původním stavu a barvě (šedé, černé, červené) nebo se magnetická zrna obalují luminoforem.

c) velikost a tvar zrna

Velikost zrna by měla být o něco větší než je šířka trhliny. Větší částice by slabší rozptylový tok neudržel a naopak zrna s menším průměrem mohou do trhliny zapadnout a vytvořit magnetický můstek a zmiňovaná trhlina poté nemusí být detekována.

Tvar zrna může být buď kulový nebo protáhlý. Zrna s kulovým tvarem mají lepší pohyblivost a využívají se spíše pro suchý způsob, kdy se zrna valí po povrchu jako kuličky. Hůře se však zachycují rozptylovým tokem. Zrna protáhlá mají opačnou vlastnost. V některých případech se oba typy zrn promíchávají [1].

d) fluorescenční koeficient β

Fluorescenční koeficient udává intenzitu fluorescence magnetického prášku.

e) provozní trvanlivost fluorescenčního prášku

Při použití magnetického prášku v přístrojích s nuceným oběhem detekční kapaliny se postupně snižuje fluorescenční koeficient β . Provozní trvanlivost se vyjadřuje faktorem provozní trvanlivosti B.

• Suspenze magnetického prášku:

a) olejové – většinou petrolej + olej. Dobře přilnou i k neodmaštěnému povrchu a nepůsobí korozi. Nevýhodou je hořlavost.

b) vodné – voda s přísadou smáčedla, antikoroziního a protipěnového přípravku

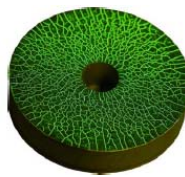
3.2.3.4 Měrky

Pro kontrolu, zda zkoušení probíhá v pořádku a vykazuje potřebnou citlivost se používají různé měrky. Velmi často se používá měrka Bertholdova, zobrazena na obr. 27. Bertholdova měrka má pod nemagnetickým víčkem ukrytou umělou vadu ve formě kříže. Při magnetizaci se přikládá na zkoušený předmět a spolu s ním se polévá. Indikace umělé vady na víčku prokazuje správný průběh zkoušení [1].

Další měrky: - měrka ASTM – jako měrka Bertholdova, avšak rozdělena na 8 dílků
- měrka MTU – ke kontrole kvality detekčních suspenzí (znázorněna na obr. 28)



Obr. 27 Bertholdova měrka [13]



Obr. 28 Měrka MTU [7]

3.2.3.5 Odmagnetování

- vnějším střídavým magnetickým polem s klesající amplitudou
- přepínáním polarity SS proudu, napájecího demagnetizační cívku, jehož hodnota se postupně snižuje až na nulu
- magnetováním výrobku polem opačné polarity

3.2.3.6 Vyhodnocení zkoušky

Vyhodnocení zahrnuje pečlivou prohlídku a označení nalezených indikací vad. Dokumentaci indikací lze provést fotografováním, případně otiskem na plastickou pásku. Při vyhodnocování může dojít také k objevení nepravých indikací. Jejich příčinou může být:

- náhlá změna magnetických vlastností
- náhlá změna průřezu
- změna struktury materiálu
- nadměrná intenzita magnetizace součásti
- zachycení nečistot na povrchu

3.2.4 Magnetická metoda rozptylových polí

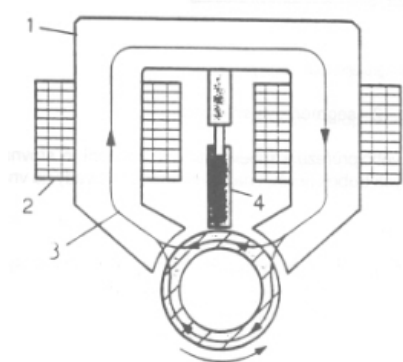
Princip této metody je velice podobný jako u metody magnetické práškové, avšak deformace magnetických siločar není zvýrazněna zmagnetovaným práškem na povrchu objektu, ale je zachycena snímačem magnetického pole. Ten vady indikuje výkyvem napětí. Tímto odpadá subjektivní posuzování pracovníkem a metoda lze snadno automatizovat. Citlivost metody je srovnatelná jako u zkoušky práškové. Používá se zejména pro zkoušení tyčí a trubek, přičemž u tenkostěnných trubek lze zjišťovat i vady na vnitřním povrchu [1, 3].

3.2.4.1 Zařízení pro testování rozptylovými poli

Magnetizační jho s příložným snímačem

Nejjednodušším zařízením, využívajícím metodu rozptylových polí, je magnetizační jho s příložným snímačem, které je schematicky uvedeno na obr. 29. Snímání magnetického pole po celém povrchu trubky je zajištěno šroubovým

pohybem snímače vůči trubce. To může být realizováno například otáčením trubky a současným podélným posuvem snímače [3].

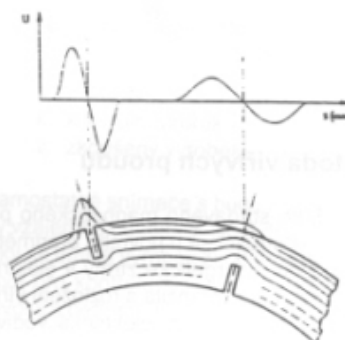
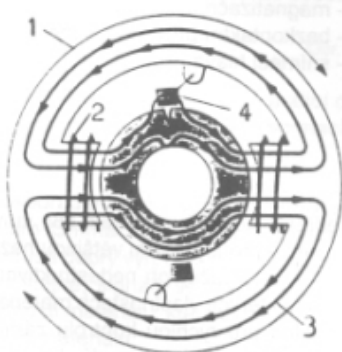


Obr. 29 Příložný snímač [3]

- 1 – magnetizační jho
- 2 – magnetizační cívka
- 3 – magnetické pole
- 4 - snímač

Snímání rotační hlavou

Dalším, výkonnějším způsobem snímání je snímání rotační hlavou, jak je uvedeno na obr. 30. Kontrolovaný objekt je opět magnetován jhem. Na něm jsou umístěny dva snímače. Magnetizační systém i se snímači rotuje a trubka koná pouze dopředný pohyb. Takto lze zjišťovat, stejně jako v předchozím případě, pouze vady podélné [3].

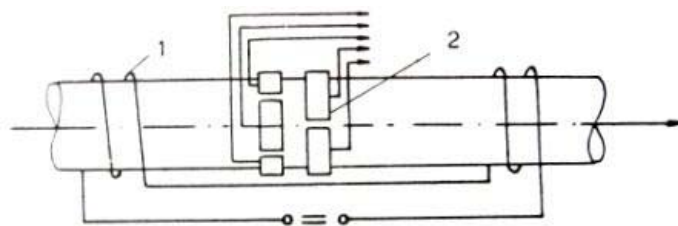


Obr. 30 Rotační hlava [3]

- 1 – magnetizační jho, 2 – magnetizační cívka, 3 – magnetické pole, 4 - snímač

Zjišťování říčních vad

Pro zachycení vad příčných je zapotřebí zvolit magnetizaci v podélném směru. Jeden ze způsobů je znázorněn na obr. 31. Zkoušená trubka prochází dvěma cívkami. Snímače jsou uchyceny v několika segmentech, které obepínají zkoušený kus. Trubka má pouze dopředný pohyb [3].

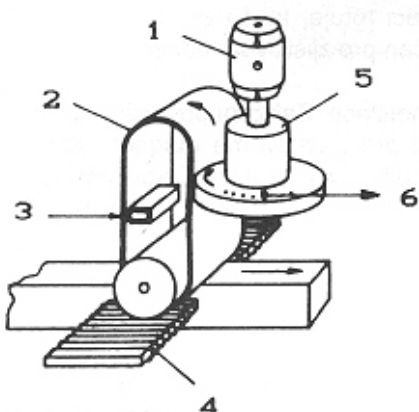


Obr. 31 Princip zařízení pro zjišťování příčných vad [3]

Magnetografická zařízení

Tato zařízení slouží ke zkoušení tyčí čtvercového a obdélníkového průřezu. Princip zkoušky je zachycen na obr. 32. Zkoušený materiál je magnetován jhem v příčném směru. V místě snímání indikací vad se odvaluje smyčka z pásku s magnetickou vrstvou. Rozptylová pole vad se pak na pásek nahrají, pak se snímají snímací hlavou a mazací hlavou se nakonec vymažou. Tento cyklus se neustále opakuje.

Uvedený způsob snímání rozptylových vad je velmi kvalitní, protože pásek se přímo dotýká zkoušeného povrchu. Největším problémem je však opotřebení magnetického pásku a proto nelze zpravidla zkoušet materiály s neupraveným surovým povrchem [3].



Obr. 32 Magnetografické zařízení [3]

1–motor, 2–magnetický pás, 3–mazací hlava, 4–magnetizační zařízení,
5–bezkontaktní převaděč signálu, 6–snímací hlava

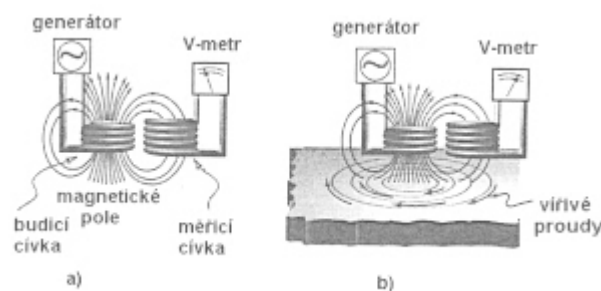
3.2.5 Metoda vířivých proudů

Princip metody

Je-li těleso vystaveno střídavému magnetickému poli, pak vznikají v rovinách kolmých na směr magnetických siločar vířivé proudy, jak můžeme vidět na obr. 33.

Metoda zkoušení je založena na tom, že se kontrolovaný předmět, jenž musí být magnetický a elektricky vodivý, vystaví působení střídavého magnetického pole. V objektu se vytvoří zmiňované vířivé proudy, které působí zpětně na magnetické

pole. Tyto dvě pole se vektorově skládají a v přiložené měřicí cívce je indukováno napětí. V ideálním případě, kdy by jsme nechali působit vířivé proudy na dva totožné objekty, by voltmetr ukázal u obou případů totožnou hodnotu napětí. Jestliže by však byla na druhém předmětu například trhlina, snímač v měřícím vinutí by ukázal jinou hodnotu. Tohoto efektu lze využívat například i v případě, kdy potřebujeme zjistit, zda jsou určité součásti vyrobeny ze stejného materiálu [1,3].



Obr. 33 Princip měření vířivými proudy [1]

3.2.5.1 Uspořádání cívek

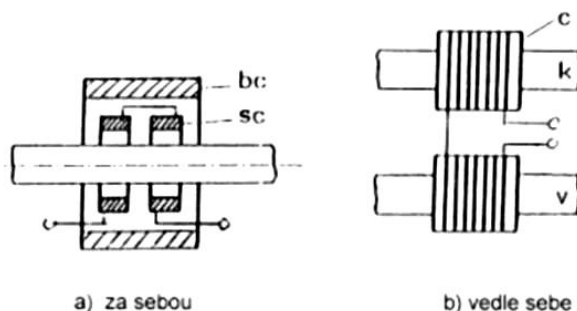
Napětí na snímací cívce však závisí na mnoha faktorech a je třeba odlišit užitečný signál od těch rušivých [3]. Proto se v praxi nejčastěji používají dva základní typy zapojení cívek, a to:

a) Za sebou

Tento způsob se využívá zejména pro hledání povrchových vad. Při zkoušení se porovnávají dvě blízká místa, takže vlivy struktury, chemického složení, místního kolísání vodivosti apod. se odečtou (diferenciální způsob). Z principu však plyne, že při detekci dlouhých trhlin se indikuje pouze začátek a konec necelistvosti. Zapojení je znázorněno na obr. 34a).

b) Vedle sebe

V tomto případě jde o dva samostatné snímače s budícím a snímacím vinutím. Snímací vinutí jsou zapojena opět tak, aby se jejich rušivé signály odečetly. Do jedné cívky je umístěn dobrý výrobek, ověřený jinou metodou, a do druhé je vložen kontrolovaný výrobek. Jsou-li oba kusy stejné, signály se kompenzují. Tohoto zapojení se využívá zejména u kontroly záměny materiálu. Zapojení je znázorněno na obr. 34b).



Obr. 34 Uspořádání cívek [3]

3.2.5.2 Výhody a nevýhody testování vířivými proudy

Výhody metody vířivých proudů

- relativně levná kontrola
- možnost konstrukce lehkých, přenosných měřicích přístrojů
- automatizace kontroly
- netřeba upravovat povrch kontrolovaného objektu před zkouškou
- bezkontaktní zkoušení
- možnost kontrolovat objekty i při vysokých teplotách

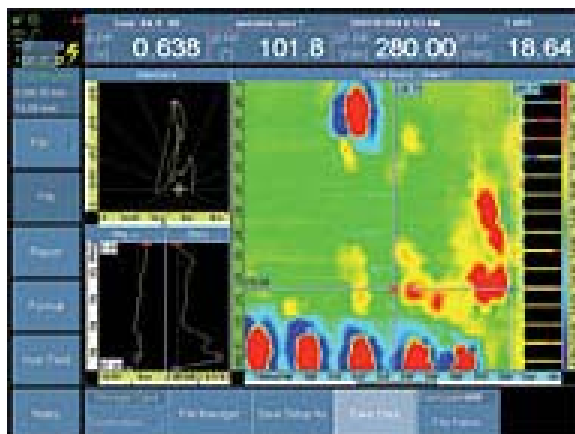
Nevýhody metody vířivých proudů

- pouze pro povrchové vady
- značná citlivost na rušivé vlivy
- poměrně volný vztah mezi velikostí vady a velikostí naměřeného signálu

3.2.5.3 Moderní trendy kontroly vířivými proudy

Eddy current array (pole sond)

Jde o uspořádání sond nejčastěji do matice. Pole se však může uspořádat i do profilu měřeného povrchu. Každou cívku je pak možno ovládat zvlášť. Tato metoda se využívá hlavně při kontrole velkých ploch (např. v leteckém průmyslu), kde by kontrola jedinou sondou byla příliš zdoluhavá. Výstupem zkoušky nejsou pouze křivky jako u klasické kontroly EC, ale jak můžeme vidět na obr. 35, výstup je i obrazový [6].



Obr. 35 Zobrazení zkoušeného povrchu [6]

Výhody oproti klasické EC sondě:

- výrazné urychlení kontroly
- kontrola velké plochy při jednom průchodu
- srozumitelnější interpretace výsledných dat
- vyšší spolehlivost a pravděpodobnost odhalení vady

Nevýhodou tohoto způsobu je vznik parazitních elektromagnetických vazeb, které narušují výsledky měření. Tento nedostatek se odstraňuje tzv. multiplexováním, tedy rychlým buzením skupin navzájem nesousedních sond v senzoru [6, 2]. Princip multiplexování je znázorněn na obr. 36.



Obr. 36 Princip multiplexování [6]

3.3 Detekce vnitřních vad

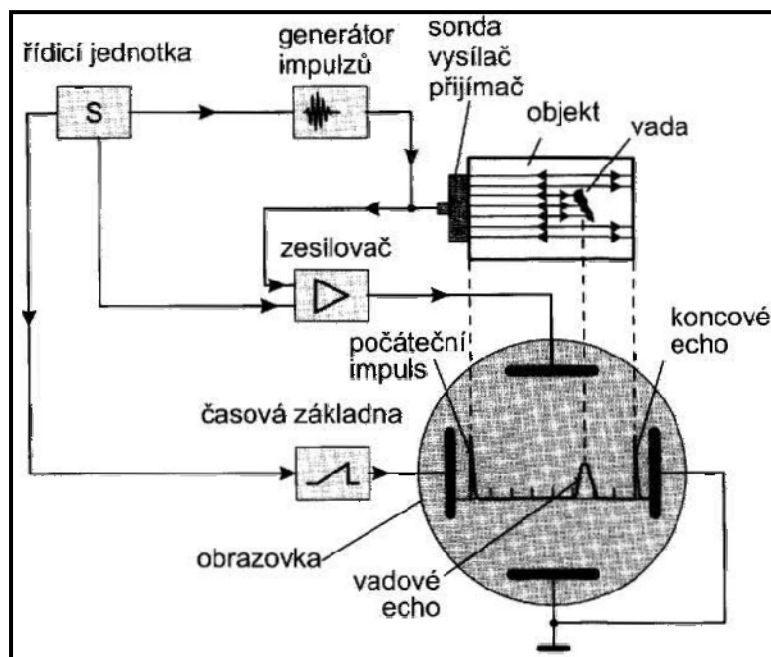
3.3.1 Ultrazvuková kontrola

Ultrazvuk je mechanické kmitání hmotného prostředí s frekvencí vyšší jak 20 kHz. V NDT se využívá kmitání o frekvenci v rozsahu 0,5 až 25 MHz. Velmi dobře se šíří pevnými látkami, takže umožňuje hledání vad i ve velkých hloubkách v materiálu.

Princip metody

Princip lze nejlépe vysvětlit na schématu ultrazvukového přístroje na obr. 37. V generátoru se vytváří vysokofrekvenční impulz, který se při průchodu sondou mění na ultrazvukový impulz. Ten prochází zkoušeným materiálem a po nárazu na vadu, případně na protilehlý povrch, se vrací zpět do sondy, kde se opět mění na slabý elektrický signál. Tento signál se pomocí zesilovače zvýrazní a zobrazí se na obrazovce. Celý tento cyklus se opakuje v rytmu opakovací frekvence, podle které pracuje synchronizátor. Ten řídí spouštění všech komponent přístroje pomocí synchronizačních impulzů. Vyhodnocování vad je závislé na zpoždění odražených impulzů, které registruje osciloskop [1, 3].

Na obrazovce se zobrazují zpravidla tři impulzy. Impulz vysílací, vadové echo a koncové echo. Vzdálenost vadového echa od vysílacího impulzu je úměrná hloubce vady pod zkoušeným povrchem, vzdálenost koncového echa tloušťce materiálu. Během trvání vysílacího impulzu nemůže sonda přijímat žádné odražené signály. Není proto zkoušena podpovrchová vrstva, které se také říká mrtvé pásmo [3].



Obr. 37 Schéma ultrazvukového přístroje [1]

3.3.1.1 Sondy

Jako elektroakustické měniče se v NDT nejčastěji užívají sondy piezoelektrické. Jsou to tenké destičky, které se při přivedení elektrických impulzů deformují a vytvářejí mechanické kmity. Případně naopak při dopadu zvukových vln na destičku indukují elektrické impulzy. Užívají se 3 hlavní typy sond [2, 3], a to:

- a) Přímé – Vysílají přímé ultrazvukové vlny.
- b) Úhlové – Vysílají vlny pod určitým úhlem.
- c) Dvojitě – Obsahují 2 měniče, jeden pouze vysílá a druhý pouze přijímá. Jejich výhodou je malé mrtvé pásmo => pro tenké materiály.

3.3.1.2 Frekvence

Frekvence je důležitým parametrem při zkoušení. Při vyšších frekvencích jsme schopni rozlišit i malé vady, ale hloubka průniku ultrazvuku je menší. U nízkých kmitočtů je tomu naopak [8].

3.3.1.3 Tloušťkoměry

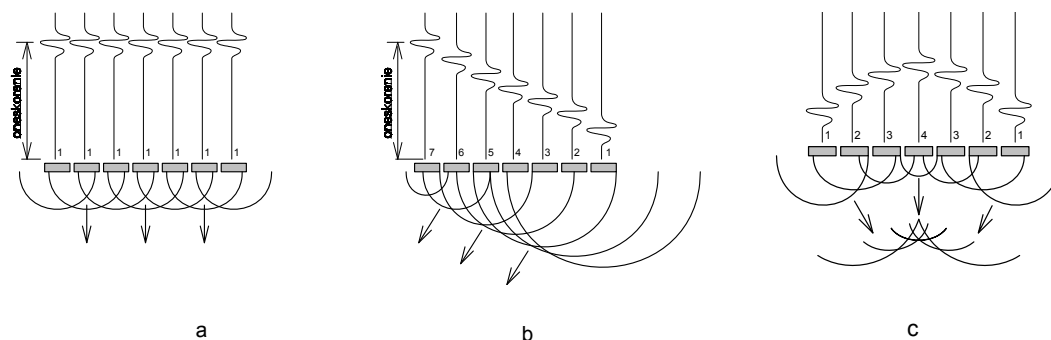
Díky koncovému echu lze měřit i tloušťky materiálů. Z důvodu nepřesností nejsou vhodné běžné univerzální přístroje, ale používají se speciální ultrazvukové tloušťkoměry s přesností většinou $\pm 0,1$ mm. Měření je nepřímé a provádí se měřením doby průchodu ultrazvuku materiálem. Přístroj je tedy nutno před měřením

seřídí na kalibračním vzorku stejného materiálu jako je ten měřený. Poté se při měření čte údaj přímo z displeje přístroje [3].

3.3.1.4 Moderní metody kontroly ultrazvukem

Phased array

Jedním z nových přístupů ke zkoušení materiálu ultrazvukem je technika Phased array. Metoda je založena na použití soustavy miniaturních piezoelektrických měničů, přičemž řídicí elektronikou je ovládán každý měnič zvlášť, čímž je možno formovat tvar svazku. Svazek ultrazvuku lze vysílat například přímý, pod určitým úhlem, nebo fokusovaný s libovolnou ohniskovou vzdáleností, jak je naznačeno na obr. 38. Generováním měnitelného úhlu svazku můžeme pokrýt mnohem větší oblast zkoušeného předmětu bez posuvu sondy. Tím se zlepšuje prostorové rozlišení a hodnocení vad je přesnější.



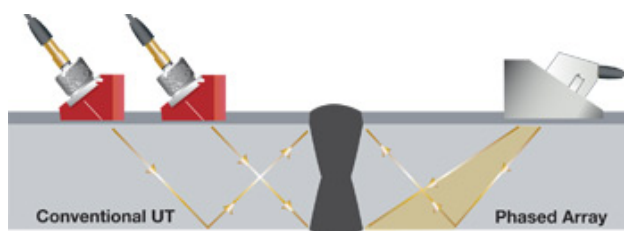
Obr. 38 Tvarování ultrazvukového svazku [1]

a - vysílání přímého svazku

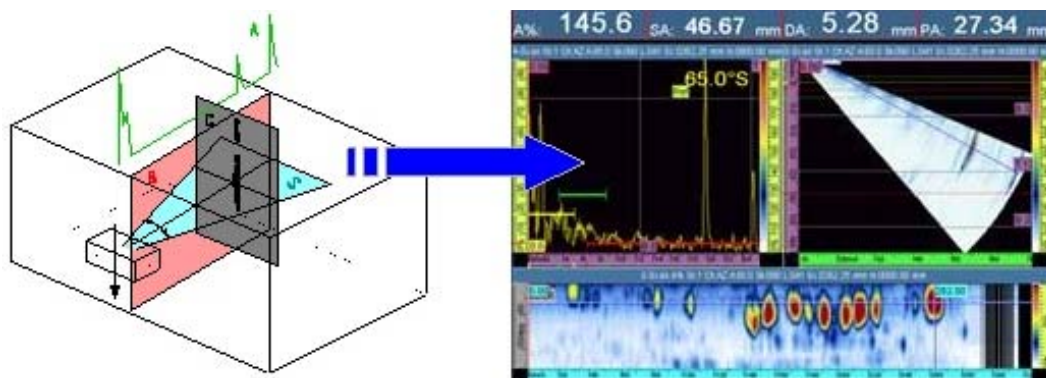
b - vysílání šikmého svazku

c - vysílání fokusovaného přímého svazku

Předností této techniky je též obraz prozvučovaného průřezu v reálném čase, ve kterém je možno snáze než v klasickém A zobrazení odlišit relevantní indikace na pozadí šumu. Rozdíl od klasického prozvučování je zřejmý z obrázku 39 [1,5, 8]. Zachycení snímané vady na monitoru ultrazvukového přístroje je potom znázorněno na obr. 40.



Obr. 39 Srovnání klasického prozvučování s metodou Phased array [5]

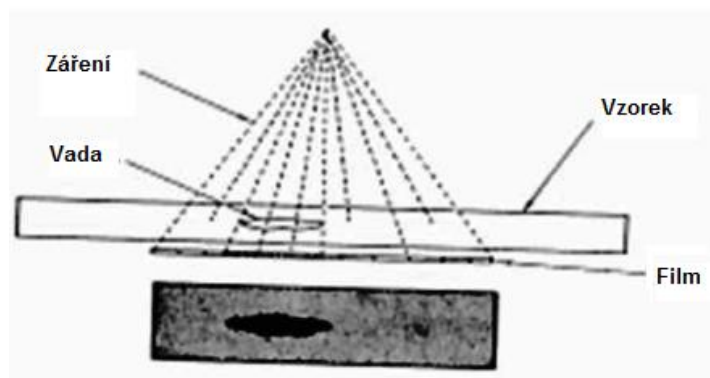


Obr. 40 Snímání vady Phased array sondou [7]

3.3.2 Kontrola prozařováním

Princip metody

Ionizující záření procházející hmotou se zeslabuje, ovšem při průchodu dutinou méně. Při dopadu tohoto záření na film se znázorní vady jako tmavší místa, jak je schématicky zachyceno na obr. 41. Metoda je vhodná pro hledání vad prostorového charakteru, např. bublin. Často se využívá při kontrole svarů nebo odlitků [3].



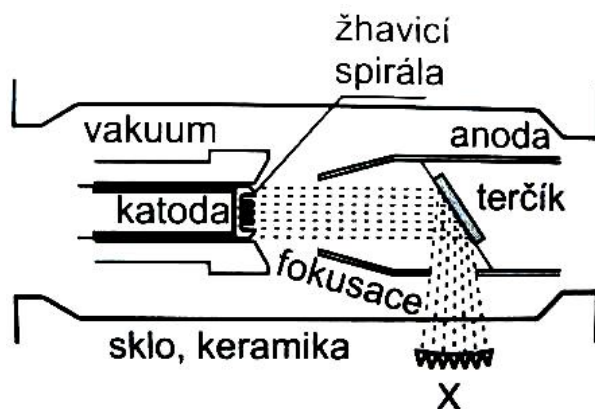
Obr. 41 Princip prozařovací metody [1]

3.3.2.1 Zdroje ionizujícího záření

Rentgenka

Nejstarším zdrojem ionizujícího záření je rentgenka. Konstrukce rentgenky je naznačena na obr. 42. Je to skleněná trubice s vysokým vakuem, obsahující katodu a anodu. Katoda - zpravidla wolframová spirála je zdrojem elektronů. Anodu je nutno intenzivně chladit, proto je vyrobena většinou z mědi. Elektrony uvolněné z katody jsou urychlovány vysokým elektrickým napětím (50-400 kV) a poté dopadají na anodový terčik. Zbrzděním elektronů je vyzařováno rentgenové záření. Na užitečné záření se však přemění pouze necelé procento kinetické energie elektronů.

Při použití nižších urychlovacích napětí vzniká tzv. měkké rtg. záření. To nemá takové pronikavé schopnosti jako za použití vysokých napětí (tvrdé rtg. záření), ale umožňuje detailnější zobrazení vad na filmu [1, 3].



Obr. 42 Schéma rentgenky [2].

Lineární urychlovače a betatrony

V praxi se pro prozařování větších tloušťek používají lineární urychlovače nebo betatrony. U těchto zdrojů se uplatňuje jiný způsob urychlování elektronů. Maximální prozařitelná tloušťka oceli se pak pohybuje kolem 500 mm, zatímco u rentgeny je ekonomicky výhodné prozařovat tloušťky do 70 mm [1, 3].

Radionuklidy

Dalším zdrojem záření jsou radionuklidy. To jsou prvky, jejichž jádra se samovolně rozpadají a vyzařují záření gama. Toto záření však nejde zastavit, takže je nutné radionuklidy ukrýt do krytu, kde jsou chráněny silnou vrstvou olova nebo uranu. Z těchto krytů se vysouvají pouze při pořizování radiogramů. Důsledkem nespojitého spektra záření získáváme radiogramy o menším kontrastu než například při použití rtg. záření [1, 3].

3.3.2.2 Detekce záření

Radiografie

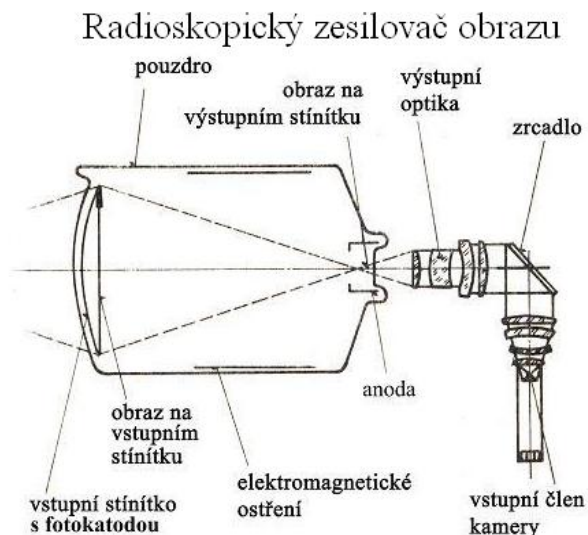
K zachycení prošlého záření se nejčastěji používá speciální fotografický film. Film se zpracovává běžným fotografickým postupem (vyvolání, ustálení, praní, sušení). Z toho také plyne nevýhoda metody prozařováním, a to dlouhá doba zpracování filmu a vysoké náklady na materiál.

Dále se používá fluorescenční stínítko které je opatřeno vrstvou CaWO_4 . Tato vrstva v místech ozáření rtg. paprsky vydává viditelné světlo [3].

Radioskopie

Radioskopie je zobrazení obrazu záření procházejícího materiálem na obrazovce monitoru. Základem této metody detekce záření jsou detektory, které transformují dopadající záření na optický nebo elektrický signál. Ten je pomocí elektronového zesilovače zesílen (popsáno níže) a zobrazen na monitoru. Tento způsob je sice nákladnější než radiografie, avšak je mnohem produktivnější [2].

Elektronový zesilovač je konstrukčně popsán na obr. 43. Pracuje tak, že rtg. záření prošlé předmětem dopadá na vstupní stínítko, kde vytváří kvalitní, ale velmi slabý obraz. Na vstupním stínítku je nanášena fotokatoda, která v osvětlených místech emituje elektrony, ty jsou urychleny a dopadají na výstupní stínítko, kde vytváří zesílený obraz. Ten je snímán kamerou a zobrazován na monitoru [3].



Obr. 43 Radioskopický zesilovač obrazu [8]

3.3.2.3 Hodnocení kvality obrazu

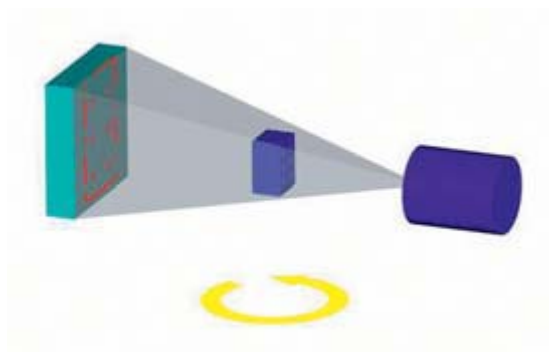
Při hodnocení zkoušky je rozhodující čitelnost obrazu. Kvalita obrazu se nejčastěji kontroluje pomocí drátkových měrek. Sadu drátkových měrek tvoří drátky s odstupňovanými průměry, které se prozařují společně se zkoušeným objektem. Drátek nejmenšího průměru, který je ještě viditelný určuje tzv. drátkovou rozeznatelnost vad. Ta bývá obvykle předepsána na 1,5 až 2% tloušťky prozařovaného objektu [3].

3.3.2.4 Moderní trendy kontroly prozařováním

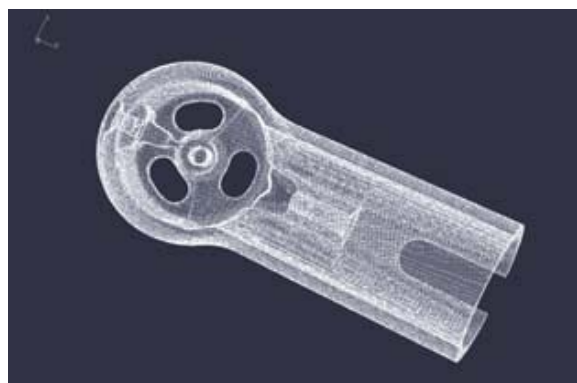
Rentgenová tomografie

V roce 2005 uveřejnila německá firma Werth Messtechnik svůj nový stroj Werth TomoScope. Zařízení pracuje na principu průmyslové tomografie a poskytuje rychlé, kompletní a vysoce přesné měření mnoha prvků součásti.

Systém funguje tak, že součást vložená do přístroje je prozařována kuželem rentgenového záření a prozářený průmět předmětu se promítá na detektor, kde se rentgenový obraz přepočítá do 2D digitálního obrazu. Tím je snímek připraven pro další zpracování. To nejdůležitější na tomto principu je však to, že zkoušená součást je umístěna na otočném stole a při prozařování se průběžně otáčí kolem své svislé osy o 360°, jak je zobrazeno na obr. 44. Rentgenové obrazy jsou snímány v mnoha pozicích otáčení a následně je zkoušený díl v PC sestaven v síť 3D bodů, jak můžeme vidět na obr. 45 a zrekonstruován s přesností 5 mikrometrů v ucelený dílec. Tyto body jsou použity pro následující měření geometrie dílce [15, 16, 17].

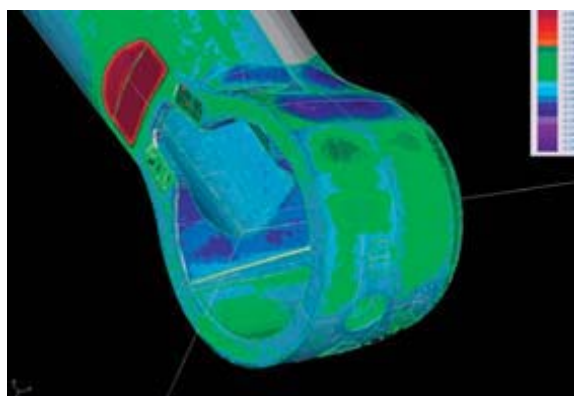


Obr. 44 Princip rentgenové tomografie [17]



Obr. 45 Zobrazení sítě bodů po CT měření [17]

Použitím této technologie získáme kompletní geometrii měřené součásti, včetně skrytých hran, dutin apod. Můžeme také srovnat nominální data z CAD systému s daty naměřenými, čímž získáme odchylky skutečných rozměrů od těch teoretických, jak je uvedeno na obr. 46.



Obr. 46 Komparace nominálních dat se skutečnými [17]

Další možnost využití této technologie je vytvoření reálné kopie součásti pomocí reverzního inženýrství a dat získaných z měření. Pro účely defektoskopie je nejlépe využitelná možnost dílcem virtuálně procházet a hledat tak případné skryté vady [15, 16, 17].

4 Závěr

Účelem nedestruktivního zkoušení je odhalit případnou vadu v materiálu, určit typ tohoto defektu a popsat jeho polohu a velikost. Díky těmto informacím je pak možné vyhodnotit, zda je třeba kontrolovaný objekt upravit, či úplně vyřadit z provozu, aby nedošlo k nečekané havárii zařízení.

V současnosti používané metody defektoskopie ve většině případů postačují k získání těchto údajů, ale mnohdy je měření velice složité, nákladné, či časově náročné. Proto jsou vyvíjeny stále novější a dokonalejší defektoskopické přístroje a postupy inspekce. Pochopitelně ne všechny principy NDT lze výrazným způsobem modernizovat. Například u vizuální kontroly a kapilárních zkoušek je vývoj směřován zejména ke zlepšování rozlišovacích schopností přístrojů a už z principu těchto metod je patrné, že výraznější vývoj nelze očekávat. V tomto ohledu jsou perspektivnější jiné principy, a to zejména kontrola ultrazvukem a prozařováním.

Z oblasti ultrazvukového zkoušení se jeví jako velice užitečná metoda Phased array. Ta už je veřejnosti do značné míry známá a je stále více používána i v praxi. Méně známá je potom novinka z odvětví kontroly prozařováním, a to o průmyslová tomografie. Díky možnosti detailního zkoumání pomocí 3D počítačového modelu a vzhledem k širokým možnostem dalšího využití přístroje má i tato metoda velice slibnou budoucnost. Výraznou překážkou k rozšíření tohoto zařízení však může být jeho vysoká cena.

Použitá literatura:

- [1] KOPEC, Bernard, ŠMÍD, Radislav. Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí : Nauka o materiálu IV. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [2] KREIDL, Marcel. Senzory neelektrických veličin : Technická diagnostika. 1.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2006. 406 s. ISBN 80-7300-158-6.
- [3] ULLMANN, Jiří. Nedestruktivní zkoušení materiálů : všeobecné znalosti. 1.vyd. Ostrava: PTS Josef Solnař, 1995. 43 s.
- [4] VĚCHET, Mojmír, et al. Defektoskopie v otázkách a odpovědích. 1.vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1989. 323 s. ISBN 80-03-00100-5.
- [5] OLYMPUS CORPORATION. Phased array tutorial [online]. 3/2009 [citováno 2009-03-28]. Dostupné z: <<http://www.olympus-ims.com/cs/ndt-tutorials/phased-array/>>
- [6] OLYMPUS CORPORATION. Eddy current array tutorial [online]. 3/2009 [citováno 2009-03-23]. Dostupné z: <<http://www.olympus-ims.com/cs/ndt-tutorials/eca-tutorial/>>
- [7] NDT TRADE. Phased array [online]. 10/2008 [citováno 2009-02-18]. Dostupné z: <<http://www.ndttrade.cz/category/9/phased-array-sk>>
- [8] ATG. NDT zkoušení [online]. 7/2008 [citováno 2009-02-21]. Dostupné z: <<http://www.atg.cz/>>
- [9] Ionizující zařízení a svazky částic [online]. [citováno 2009-04-8]. Dostupné z: <<http://vega.fjfi.cvut.cz/docs/sfbe/zareni/zareni.htm>>
- [10] History of ultrasonic [online]. 10/2008 [citováno 2009-04-8]. Dostupné z: <http://www.ob-ultrasound.net/ultrasonics_history.html>
- [11] OLYMPUS CORPORATION. Produkty pro vizuální prohlížení na dálku [online]. [citováno 2009-02-11]. Dostupné z: <<http://www.olympus-ims.com/cs/rvi-products/>>
- [12] Laser techniques company. Penetrant inspection [online]. [citováno 2009-03-29]. Dostupné z: <<http://ltech1.qwestoffice.net/penetrant.html>>
- [13] PTS Josef Solnař s.r.o. MT kontrola [online]. [citováno 2009-04-08]. Dostupné z: <http://www.ptsndt.com/cz/index.php?option=com_content&task=blogsection&id=1&Itemid=3>
- [14] Energoservis. kompletní dodávky a služby v NDT [online]. 7/2008 [citováno 2009-04-12]. Dostupné z: <<http://www.defektoskopie.cz/>>

- [15] Werth messtechnik. Werth - TomoScope [online]. 6/2008 [citováno 2009-04-12]. Dostupné z:
<<http://www.werthmesstechnik.de/html/deutsch/neu/TomoScope%20HV.pdf>>
- [16] Technika a trh. První multisenzorový CT skener pro 3D měření [online]. 8/2008 [citováno 2009-04-12]. Dostupné z:
<http://www.technikaatrh.cz/index.php?sec=rubrika&id_rubrika=41&start=6>
- [17] Prima bilavčík. Nová technologie výpočtové tomografie [online]. 8/2008 [citováno 2009-04-12]. Dostupné z:
<http://www.prima-bilavcik.cz/userfiles/27.02.2006_14-43-46/TomoScope.pdf>