

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Nedestruktivní kapilární defektoskopie

bakalářská práce

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

Autor práce: Marcela Salačová

PRAHA 2010

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: jakosti a spolehlivosti strojů	Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Marcela Salačová**

Studijní obor: **Obchod a podnikání s technikou**

Název práce: **Nedestruktivní kapilární defektoskopie**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Cílem bakalářské práce je zpracovat literární rešerši zákonných předpisů a vyhlášek, které upravují použití kapilární metody v nedestruktivní defektoskopii. Na základě tohoto rozboru potom popsat způsoby měření a vyhodnocení nalezených indikací a v poslední části práce vyhledat a popsat zkušební zařízení.

Osnova práce:

1. Úvod
2. Zákonné předpisy a vyhlášky
3. Metody a možnosti měření
4. Měřicí zařízení
5. Závěr

Metodika práce:

První část bakalářské práce bude řešena literárním rozбором vyhledaných předpisů, zákonů a vyhlášek použití kapilární metody v nedestruktivní defektoskopii. Na základě tohoto rozboru vyhledat výrobce a popsat funkci, výhody a nevýhody zkušebních zařízení.

Rozsah práce: 30 - 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN 473 Nedestruktivní zkoušení - Kvalifikace a certifikace pracovníků
nedestruktivního zkoušení - Všeobecné zásady

ČSN 01 5016 Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení materiálů a výrobků kapilárními metodami

ČSN EN 571-1 Nedestruktivní zkoušení - Kapilární zkouška - Část 1: Obecné zásady

ČSN EN ISO 3452-2 Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení kapilární metodou - Část 2:
Zkoušení kapilárních prostředků

ČSN EN ISO 3452-3 Nedestruktivní zkoušení - Kapilární zkouška - Část 3: Kontrolní měřky

ČSN EN ISO 3452-4 Nedestruktivní zkoušení - Kapilární zkouška - Část 4: Vybavení


Periodika a firemní literatura

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

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2008

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2010




prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

vedoucí katedry


prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 12. 12. 2008

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Pexy, Ph.D. a použila jen literárních pramenů a publikací citovaných v přiložené bibliografii.

V Praze dne 29. dubna 2010

Marcela Salačová

Tímto bych ráda poděkovala všem lidem, kteří se podíleli na vzniku této bakalářské práce ať už s větší či menší mírou. V první řadě děkuji svému vedoucímu práce panu Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za cenné náměty a připomínky. Dále děkuji odborníkovi v oblasti kapilární defektoskopie p. Pavlu Mařánkovi (zaměstnanci firmy ATG, s.r.o.) za podněty při řešení praktické části a poskytnutí materiálů a Ing. Radku Salačovi za uvedení do problematiky kapilárního zkoušení, objasnění použití kapilární linky v praxi a jazykové korektury textů.

Abstrakt: Obsahem této bakalářské práce na téma „Nedestruktivní kapilární defektoskopie“ je rozbor zákonných předpisů a vyhlášek, které jsou shrnuty v celé řadě norem. První část práce obsahuje souhrn fyzikálních základů a rozbor norem, které popisují postupy zkoušení s využitím kapilární metody jako jedné z NDT metod. Následně jsou uvedeny způsoby a podmínky kvalifikace a certifikace pracovníků NDT a klasifikace a hodnocení indikací necelistvostí. Ve druhé části práce jsou popsány zkušební zařízení a vybavení. Podklady pro popis činnosti zkušebních zařízení, zejména kapilárních linek, byly získány od výrobce těchto zařízení, kterého jsem kontaktovala.

Klíčová slova: nedestruktivní, norma, penetrant, certifikace, indikace

Summary: The content of the bachelor thesis “Non-destructive testing” is analysis of the statutory instruments and the guidelines, which are included in number of the standards. First part of the thesis includes physical fundamentals and analysis of the standards which specify testing processes of NDT penetration method. In addition, there are described the methods and the conditions of qualification and certification of NDT personnel and classification and evaluation imperfection indications. Second part of the thesis includes testing equipment description. Source materials for testing equipment description, especially liquid penetration lines, were obtained from such equipments producer, which I had contacted.

Key Words: non-destructive, standard, penetrant, certification, indication

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Fyzikální základy	2
2.1	Fyzikální vlastnosti penetrantů	3
2.1.1	Povrchové napětí	3
2.1.2	Krajový úhel a smáčivost.....	3
2.1.3	Kapilární elevace (vzlínavost).....	4
2.1.4	Viskozita	4
2.2	Emulgace	5
3.	Zkušební postup.....	5
3.1	Příprava povrchu	6
3.1.1	Mechanické předčištění	7
3.1.2	Chemické předčištění.....	7
3.2	Rozdělení kapilárních prostředků.....	8
3.3	Penetrace.....	10
3.3.1	Typy penetrantů.....	10
3.3.2	Způsoby nanášení	10
3.3.3	Penetrační čas.....	11
3.4	Mezičištění.....	11
3.4.1	Penetranty odstranitelné rozpouštědly	12
3.4.2	Vodou smytelné penetranty	12
3.4.3	Postemulgační penetranty	12
3.5	Vyvolávání.....	13
3.5.1	Funkce vývojky	13
3.5.2	Sušení před a po nanesení vývojky	14
3.5.3	Nanášení suché vývojky	14
3.5.4	Nanášení mokré vodné vývojky	15
3.5.5	Nanášení mokré nevodné vývojky	15
3.6	Vyhodnocování indikací.....	15
3.6.1	Inspekce	16
3.6.2	Interpretace.....	16
3.6.3	Klasifikace	17
3.6.4	Vyhodnocení	17

3.7	Konečné čištění	17
4.	Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT.....	17
4.1	Kvalifikační stupně.....	17
4.2	Způsobilost osob	18
4.2.1	Školení uchazečů a praxe.....	18
4.2.2	Kvalifikační zkoušky uchazečů.....	18
4.2.3	Vyhodnocení zkoušek pro stupeň 1 a stupeň 2	19
4.2.4	Obsah a hodnocení zkoušky pro stupeň 3.....	19
4.2.5	Platnost certifikace	20
5.	Klasifikace a vyhodnocení indikací	20
5.1	Definice indikací	20
5.2	Izolované indikace.....	21
5.3	Skupiny indikací.....	21
5.4	Další kritéria při klasifikaci indikací	22
6.	Zkušební zařízení	23
6.1	Přenosné zkušební soupravy	23
6.2	Zkušební kapilární linky	24
6.3	Zařízení pro emisi ultrafialového záření – UV lampa	28
6.4	Kontrolní měrky	29
6.5	Typové zkoušky a zkoušky šarže.....	30
6.6	Kontrolní zkoušky procesu a bezpečnostní listy	30
6.7	Souhrn.....	32
7.	Závěr.....	33
	Seznam použité literatury	34
	Seznam tabulek.....	36
	Seznam použitých zkratk.....	37

1. Úvod

Význam nedestruktivní defektoskopie v uplynulých desetiletích neustále roste. Nedestruktivní zkoušení materiálů dnes zasahuje do velké části strojírenské výroby, stejně tak i do kontrolních mechanismů již používaných strojů a jejich dílů. Co vlastně nedestruktivní defektoskopie znamená? Jedná se o druh zkoušek materiálu a hotových dílů takovým způsobem, aby nedošlo k jeho trvalému poškození či znehodnocení.

Účelem zkoušek je najít povrchovou či objemovou vadu prostřednictvím jedné z řady nedestruktivních metod, respektive je účelné potvrdit, že se v materiálu žádná vada nevyskytuje.

Průvodním znakem toho, že je v materiálu nějaká vada, obecněji necelistvost, je u většiny metod tzv. indikace. Jakmile je tato indikace objevena a podle příslušné normy nebo předpisu označena jako „závažná“, je příslušný díl zpravidla shledán nevhodným k dalšímu použití, a nebo je určen k opravě, je-li to ekonomicky výhodné. Tento postup kontroly vede nejen ke zvýšení jakosti výrobků a konkurenceschopnosti, ale v mnoha případech vede ke zvýšení bezpečnosti finálních zařízení, strojů, dopravních prostředků atp.

Přestože se samotné metodiky nedestruktivního testování příliš nemění, mění se způsob jejich nasazení. V dnešním průmyslu silně převažuje trend zvaný automatizace, tedy schopnost výrobního zařízení autonomně bez lidské obsluhy provádět výrobní cyklus. Ani odvětví defektoskopie neuniklo tomuto trendu, a to s několika výhodami. Testování je levnější, rychlejší a lze přesněji kontrolovat technologický postup zkoušení a jeho parametry.

Tato práce se zabývá metodou, která se podle svého fyzikálního chemického principu jmenuje kapilární nebo též penetrační. Stejně jako ostatní nedestruktivní metody, je kapilární metoda účelně používána pouze v určité technologické oblasti.

Stejně jako ostatní nedestruktivní metody, podléhá i použití kapilární metody přísným pravidlům stanovených normami a předpisy. Dalším normám podléhají samotná testovací zařízení i kvalifikace personálu, který metodu vykonává. V teoretické části se práce zabývá rozbořením těchto norem, předpisů a čerpá z další dostupné odborné literatury. Následující část je věnována zkušebním zařízením vycházející z nejen z teoretických podkladů, ale i ze zkušeností vysoce kvalitních pracovníků v oblasti NDT, kteří byli s touto prací nápomocni.

2. Fyzikální základy

Pro svou jednoduchost je kapilární metoda jednou z nejpoužívanějších metod nedestruktivního zkoušení. Kapilární zkouška je závislá zejména na tom, jak účinně penetrant smáčí povrch zkoušeného dílu a vytváří souvislý rovnoměrný povlak, a jak vniká do necelistvostí, které jsou na povrch otevřené. Tyto necelistvosti nemusejí být vždy viditelné pouhým okem, proto schopnost určitého penetrantu smáčet povrch a vstupovat do necelistvostí závisí také na:

- čistotě povrchu,
- tvaru, druhu a velikosti necelistvosti,
- čistotě necelistvosti,
- povrchovém napětí penetrantu,
- kontaktním úhlu penetrantu [12].

Kapilární metoda se používá jako nedestruktivní způsob zkoušení, ke zjišťování necelistvostí otevřených na povrch zkoušeného předmětu, jako jsou trhliny, praskliny, přeložky, zavaleniny, zdvojení, póry. Vhodná kapalina (penetrant) se nanese na zkoušený povrch a nechá se vnikat do necelistvostí. Po vniknutí do necelistvostí se přebytečný penetrant z povrchu odstraní a nanese se vývojka. Vývojka působí jako absorbent, jenž nasává penetrant, který vnikl do necelistvostí. Při inspekci se potom, za vhodných podmínek, posuzují zvětšené, dvojrozměrné **indikace** zjištěných necelistvostí. Tato metoda umožňuje zjistit povrchové vady pouhým zrakem neviditelné.

Tento základní způsob kapilární metody má však svá omezení. Jsou materiálové vady na povrchu **neotevřené**, například sevřené trhliny po třískovém obrábění, kdy nemůže penetrant vniknout do necelistvosti a proto případnou necelistvost materiálu neindikuje. U porézních materiálů, např. slinuté kovy nebo neglazovaná keramika se nachází velké množství přirozených pórů. Jejich indikace po provedené kapilární zkoušce mohou zakrýt případné závažné, hledané necelistvosti.

Základní zkušební postup kapilární zkoušky je:

1. čištění povrchu,
2. nanesení penetrační kapaliny na povrch předmětu (průběh vnikání),
3. odstranění přebytku penetrační kapaliny z povrchu poté co kapalina vnikla do necelistvosti (průběh čištění),

4. nanesení vývojky – vzlínání (vyvíjení) kapaliny z necelistvosti,
5. prohlídka – zjištění indikace necelistvosti na zkoušením povrchu [2].

2.1 Fyzikální vlastnosti penetrantů

Penetranty jsou vždy voleny jako kapalné látky. Aby mohly plnit svůj účel, musí splňovat určitá fyzikální kritéria, která popisují chování kapalin ve vztahu k pevným látkám a k necelistvostem, které lze obecně charakterizovat jako kapiláry.

Mezi fyzikální kritéria, která popisují chování látek účastnících se penetračního procesu, patří **povrchové napětí, krajový úhel a smáčivost, kapilární elevace a viskozita.**

2.1.1 Povrchové napětí

Povrchové molekuly kapaliny na rozhraní s plynnou fází jsou vtahovány určitou silou dovnitř kapaliny. Vlivem těchto sil se kapalina snaží nabýt tvar při němž má daný objem kapaliny nejmenší povrch. Na každou molekulu ležící v povrchové vrstvě působí sousední molekuly výslednou přitažlivou silou směřující do kapaliny.

Síly, které brání zvětšování povrchu se nazývají **povrchové napětí**. Povrchové napětí je proto měřítkem pro vnitřní soudržnost jednotlivých kapalin, pro kohezní sílu a ovlivňuje smáčivost povrchu pevné látky [1].

2.1.2 Krajový úhel a smáčivost

Úhel, který svírá povrch kapaliny se stěnou pevného tělesa lze měřit a nazývá se **krajový úhel (úhel kontaktu)**.

Mírou smáčivosti je kosinus krajového úhlu. Kosinus krajového úhlu se také nazývá **adhezní konstanta**. Je-li adhezní konstanta kladná, krajový úhel je ostrý a kapalina stěnu smáčí (okraj u stěny se zvedne). Je-li adhezní konstanta záporná, krajový úhel je tupý a kapalina stěnu nesmáčí. Krajový úhel u penetračních kapalin je vždy malý, tzn. jeho kosinus je blízký 1.

Špatná smáčivost může mít více příčin. Kapalina může mít vysoké povrchové napětí (proti vzduchu), tudíž velkou kohezi a tedy sklon ke kapkovitosti. Nebo může být povrch ve špatném stavu např. špinavý, korozní nebo mastný, což adhezní síly mezi kapalinou a pevnou látkou zmenšuje. Dalším faktorem může být vliv okolního plynu, který může způsobit absorpci (agresivní a toxické plyny).

Penetrant musí dobře smáčet celou zkoušenou plochu, dobře pokrýt místa s předpokládaným výskytem vad. Vzhledem k tomu, že voda má vysoké povrchové napětí, nemůže proto na zkoušeném povrchu vytvořit dobrý kontaktní úhel, tzn. že nevytváří na povrchu souvislou vrstvu. Proto jsou penetranty zpravidla postaveny na olejové bázi, které mají lepší smáčivost povrchu než pevné látky.

2.1.3 Kapilární elevace (vzlínavost)

Rozhodující pro zjistitelnost indikací je citlivost penetrantu, tj. aby dobře vnikal a při vyvolání opět vzlínal.

Při dobré penetrační schopnosti tedy pronikání kapaliny do dutin je potřeba, aby koheze kapaliny reprezentovaná povrchovým napětím byla co nejvyšší a zároveň kontaktní úhel reprezentovaný smáčivostí byl co nejnižší. Povrchové napětí a smáčivost, ale působí proti sobě, proto je vždy volen vhodný kompromis.

Vnikací schopnost do těsné mezery (např. trhliny) je označována jako **kapilární elevace**. Kapalina v trubičce stoupá tím výše, čím je její průměr menší. Příčinou tohoto jevu je snaha kapaliny zcela smáčet vnitřní stěnu kapiláry. Vlivem povrchového napětí jsou částice kapaliny, které nepřichází do kontaktu s povrchem kapiláry, vtahovány do určité výšky a vlivem gravitace naopak vtahovány zpět. Celý rovnovážný proces lze popsat následujícím vztahem:

$$h = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \cos \varphi}{\rho \cdot g \cdot d},$$

Rovnice č. 1: Výpočet pro stoupání kapaliny v trubičce

kde h je výška sloupce vyzvednuté kapaliny (m),

ρ – specifická hmotnost kapaliny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$],

σ – povrch napětí [$\text{N}\cdot\text{m}$],

φ – kontaktní úhel [rad],

d – průměr kapiláry [m],

g – tíhové zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$].

Stejně jako lze považovat dutiny nebo trhliny v materiálu za kapiláry, lze rovněž označit vývojku, která je nanesena na povrch, také jako síť kapilár [1].

2.1.4 Viskozita

Viskozita je fyzikální veličina charakterizující vnitřní tření kapaliny při jejím proudění a závisí především na přitažlivých silách mezi částicemi. Kapaliny s větší

přitažlivou silou mají větší viskozitu, větší viskozita znamená větší brzdění pohybu kapaliny nebo těles v kapalině.

Penetrant s vysokou viskozitou vniká do vad pomalu naopak penetrant s nízkou viskozitou vytvoří na povrchu součásti příliš malou vrstvu. Penetrační čas závisí především na rozměru dutiny, hustotě kapaliny, velikosti viskozity. Viskozita penetrantu je odvislá od druhu a složení penetrantu, teploty povrchu zkoušeného předmětu a vlastní teploty penetrantu.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že penetrační čas s ohledem na jeho vliv na citlivost zkoušky je závislý na teplotě.

2.2 Emulgace

Penetrant je složen převážně z lipofilních rozpouštědel (na bázi oleje) a barvy, tj. z běžných vodou nesmytelných látek. Aby bylo možné použít pro odstranění přebytku penetrantu vodu, musí se lipofilní látky upravit na látky vodou smytné. K tomu slouží chemické látky, známé jako **tenzidy**. Vlivem tenzidů dochází k disperzi lipofilních látek a vzniká tzv. emulze. Látka, která tento stav vyvolala, se nazývá **emulgátor**.

Emulgátory jsou tedy povrchově účinné látky, které usnadňují rozptýlení pevných nebo kapalných látek v kapalině (obvykle ve vodě), ve které se normálně nerozpouštějí. V kapilárních zkouškách emulgátory usnadňují odstranění přebytku penetrantu z povrchu zkoušeného předmětu pomocí vody.

Emulgátory lze rozdělit na dva základní druhy.

Emulgátory lipofilní jsou rozpustné v olejích, nejsou rozpustné ve vodě. V přítomnosti vody však vytvářejí emulzi s detekční kapalinou. V odpadních vodách nejsou biologicky odbouratelné.

Emulgátory hydrofilní se v detekční kapalině nerozpouštějí, rozpouštějí se však ve vodě a v přítomnosti penetrantu vytvářejí s vodou emulzi. Jsou biologicky odbouratelné [3].

3. Zkušební postup

Zkušební postup se provádí s využitím následujících kapilárních prostředků:

1. penetrant,
2. prostředek k odstranění přebytku penetrantu,
3. vývojka.

Jednotlivé operace se provádějí v následujícím pořadí:

1. příprava a předčištění,
2. nanesení penetrantu, čas penetrace,
3. mezičištění (odstranění přebytku penetrantu),
4. nanesení vývojky, čas vyvíjení,
5. prohlídka,
6. očištění po zkoušce [12].

Z povrchu, který má být podroben kapilární zkoušce musí být předem odstraněny všechny nežádoucí stavy a nečistoty.

Na čistý a suchý povrch (s teplotou v předepsaném rozmezí) se nanese penetrant a nechá se působit tak dlouho, pokud se jím nezaplňují povrchové nečistosti (penetrační čas). Po uplynutí penetračního času se odstraní přebytek penetrantu z povrchu tak, aby v případných nečistostech zůstal zachován (mezičištění). V následující fázi je penetrant prostřednictvím vývojky savým způsobem vytažen z nečistosti.

Pracovník, který vyhodnocuje indikace, vidí dvourozměrné zvětšení obrazu indikace povrchové vady, viditelné na pozadí vývojky. Na závěr je zkoušený předmět opět očištěn [3].

3.1 Příprava povrchu

Pro nalezení vad v materiálu musejí být splněny následující kritéria:

- hledané nečistosti musí být otevřeny na povrch,
- nesmí být znečištěny vazelínou, oleji apod., nečistotami, vodou, barvou nebo zahlazeny při mechanickém opracování povrchu,
- zkoušená místa a jejich okolí nesmí obsahovat okuje nebo strusku, pod něž může penetrant vniknout a vytvářet falešné indikace,
- žádné látky nesmí být na povrchu, kvůli nežádoucí chemické reakci.

Před započítáním zkoušky, je-li to nezbytně nutné, je potřeba upravit povrch následovně:

- mechanickým předčištěním,
- chemickým předčištěním.

3.1.1 Mechanické předčištění

Koroze či okuje na povrchu způsobují pronikání penetrantu do těchto míst, což ve výsledku způsobuje vznik falešných indikací, které mohou být zbytečně zaměněny se skutečnou vadou.

V takových případech je nutné povrch mechanicky opracovat jedním z následujících způsobů:

- okartáčováním,
- ultrazvukovým čištěním,
- broušením nebo podobným způsobem,
- třískovým obráběním,
- tryskáním.

Při mechanickém obrábění může dojít k „rozmazání“ povrchu nebo uzavření nečistostí a tím k znemožnění přístupu penetrantu. V případě uzavření je možné zvolit např. leptání součásti, následné opláchnutí a sušení.

3.1.2 Chemické předčištění

Chemické předčištění odstraňuje z povrchu organické a některé anorganické látky. Chemické látky se musí odstranit jednak proto, že se nečistoty mohou smístit s penetrantem a změnit jeho fyzikálně-chemické vlastnosti a také proto, že penetrant nemusí vniknout do nečistostí v materiálu.

Čištění se provádí následujícími způsoby:

- **čištění saponáty**, pro odstranění mastnoty, olejů,
- **čištění rozpouštědly**, pro odstranění olejů, vosků,
- **odmašťování v parách**, pro odstranění olejů, mastnoty,
- **alkalické čištění**, pro odstranění rzi, okují, organických látek,
- **ultrazvukové čištění** - podle typu náplně organické nebo anorganické látky,
- moření v kyselině pro odstranění okují, úpravu povrchů po tryskání a „rozmazané“ povrchy po mechanickém obrábění.

Po čištění následuje odstranění dále nežádoucích čistících látek. V případě vody je potřeba ji zpravidla nuceně vysušit, v případě organických rozpouštědel je nutné počkat dokud se neodpaří.

3.2 Rozdělení kapilárních prostředků

Zkušební postup se provádí s využitím následujících kapilárních prostředků,

- penetrant,
- prostředek k odstranění přebytku penetrantu,
- vývojka,

kteří tvoří zkušební systémy.

Norma EN 571-1 popisuje takovéto zkušební systémy. Tato norma vyžaduje používání pouze schválených zkušebních systémů (schválených typovou zkouškou podle určitých standardů). Tyto zkoušky posuzují zejména kombinaci penetrant a prostředek pro odstranění přebytečného penetrantu.

Výrobce zkušebních systémů musí sladit zkušební systémy tak, aby se dosáhla požadovaná citlivost a požadovaná kompatibilita.

Penetrační prostředky však musí být kompatibilní se zkoušeným materiálem a s jeho zamýšleným (navrženým) používáním. Ve většině případů lze kompatibilitu prostředků se zkoušenou součástí předem ověřit pomocí zkoušky na korozi podle normy, např. EN ISO 3452-2.

V případech, kdy může dojít ke znečištění, je nutné spolehlivě zajistit, aby penetrační prostředek měl co nejmenší vliv na poškození pohonných hmot, maziv, hydraulických kapalin apod.

Jsou-li zkoušeny slitiny niklu, austenitické oceli nebo titan, musí dodat výrobce osvědčení o obsahu síry (pro niklové slitiny), chloru a fluoru (pro austenitické oceli a titan) v jednotlivých složkách penetračního systému (tj. v penetrantu, čističi i vývojce). Obsah fluoru, chloru a síry nesmí v těchto prostředcích překročit hranici stanovenou příslušným předpisem. Na certifikátu musí být, kromě této hodnoty uveden předpis, podle něhož byla kontrola obsahu těchto látek provedena a číslo šarže, pro kterou výsledky platí.

Tabulka č. 1: Zkušební prostředky

Penetrant		Prostředek k odstranění přebytku penetrantu		Vývojka	
Typ	Název	Metoda	Název	Druh	Název
I	Fluorescenční penetrant	A	Voda	a	Suchá
		B	Lipofilní emulgátor 1) emulgátor na olejové bázi 2) oplach tekoucí vodou	b	Vodný roztok
II	Barevný kontrastní penetrant	C	Rozpouštědlo (tekuté)	c	Vodná suspenze
				d	Na bázi rozpouštědla (mokrý nevodná)
III	Duální (fluorescenční barevný) penetrant	D	Hydrofilní emulgátor 1) volitelný předoplach vodou 2) emulgátor vodou rozpustný 3) konečný oplach (vodou)	e	Na vodní bázi nebo na bázi rozpouštědla pro zvláštní účely (např. snímatelná vývojka)
				E	Voda a rozpouštědlo

Rozlišují se v podstatě dva základní typy penetrantu:

- Typ I - fluorescenční penetranty
- Typ II - barevné penetranty

Norma též popisuje penetrant Typ III - „duální“. Obsahuje barevné i fluorescenční činidlo - využívá výhod jak typu barevného, tak fluorescenčního.

V případě rozdělení podle způsobu odstranění přebytečného penetrantu norma EN 571-1 popisuje spíše metody:

- způsob (metoda) A, prostředkem pro odstranění přebytečného penetrantu je voda, penetranty takto odstranitelné se nazývají emulgační, vodou smyitelné a obsahují lipofilní emulgátor,
- způsob (metoda) C, prostředkem pro odstranění přebytečného penetrantu je rozpouštědlo,
- způsob (metoda) B a D, pro odstranění tzv. postemulgačních, vodou nesmyitelných penetrantů je třeba použít emulgátory,
- způsob (metoda) E, prostředkem pro odstranění je voda a rozpouštědlo.

Vývojky se dělí na:

- **suché**, druh „a“,
- **mokrý vodný**, druh „b“ - roztok a druh „c“ – suspenze,
- **mokrý nevodný**, druh „d“ - suspendované v rozpouštědle,
- **vývojky pro speciální použití**, druh „e“- např. snímatelná vývojka [4].

3.3 Penetrace

3.3.1 Typy penetrantů

Fluorescenční penetranty (Typ I) - obsahují luminogeny (luminofory), což jsou látky, které mají tu vlastnost, že emitují světlo ve viditelné oblasti spektra při ozáření UV zářením. Všude tam, kde na povrchu součásti fluorescenční penetrant ulpí, dochází k této přeměně. Využívá se výsledného kontrastu světelných hustot a to světelné hustoty žlutozelené indikace oproti světelné hustotě tmavého, modrofialového pozadí. Při dostatečném zatemnění okolního (bílého) světla lze získat potřebnou světelnou intenzitu. Podle normy EN 571-1 je přípustná hodnota okolního světla maximálně 20 lx a intenzita UV-A záření minimálně 10W/m² [12].

Pro kapilární zkoušku s fluorescenčním penetrantem se využívá UV-A záření, které má ze všech tří typů UV záření nejdelší vlnovou délku, a tedy nejmenší energii a pronikavost a proto nepoškozuje lidskou tkáň. UV-A záření pro kapilární zkoušku má maximální intenzitu při 365 nm, což je vlnová délka, která vybudí ve fluorescenčních penetrantech viditelné světlo o vlnové délce cca 575 nm, které je žlutozelené a pro lidské oko, vzhledem k jeho spektrální citlivosti, obzvlášť citlivé.

Barevné penetranty (Typ II) - prohlídka se provádí pod viditelným, bílým světlem (přirozeným a/nebo umělým) s dostatečnou hodnotou osvětlení (intenzity osvětlení). Norma EN 571-1 udává minimální hodnotu 500 lx na povrchu součásti. Barevné penetranty mají většinou intenzivní červenou barvu, která dává na bílém pozadí vývojky dobrý barevný kontrast.

3.3.2 Způsoby nanášení

Penetrantem musí být pokryta všechna místa zkoušeného povrchu s předpokládaným výskytem vad. Doba, po kterou je penetrant ve styku se zkoušeným povrchem, se nazývá **penetrační čas**. V následujícím jsou uvedeny způsoby nanášení penetrantu [4].

Ponor se používá pro zkoušení velkého počtu malých součástí, často komplikovaného tvaru, naskládaných do koše, nebo zavěšením háčích, ale i pro jednotlivé rozměrnější a těžší součásti nekomplikovaného tvaru. Součásti se nejprve ponoří do nádoby s penetrantem a v druhé fázi se nechá okapat přebytek penetrantu. Penetrační čas se tedy skládá z času ponoru a času odkapávání.

Nástřík konvenční nebo elektrostatický se používá v kapilárních linkách a u příliš velkých dílů. Při elektrostatickém nástřiku jsou součásti elektricky nabitý a penetrant je i na komplikovaných tvarech rovnoměrně a stejnoměrně nanesen. Dále se využívá nástřík penetrantu pomocí spreje v přenosné aerosolové nádobě např. na stavbách a montážích a při zkoušení části větších celků.

Štětce lze použít na špatně přístupných místech, jako jsou vnitřní plochy odlitků nebo na místech, kde by nástřík znamenal nebezpečí ohrožení zdraví.

Polítí se používá v linkách u rozměrných dílů, nebo v kombinaci s nanášením pomocí štětce.

3.3.3 Penetrační čas

Penetrační čas závisí na několika kritériích jako jsou materiál zkoušeného dílu, typ výrobku (svar, odlitek, výkovek apod.), druh zjišťovaných vad, typ penetrantu a teplota prostředí.

Norma EN 571-1 stanovuje minimální a maximální časy od 5-60 minut.

Kratších časů je potřeba u hliníku, magnesia, odlitků, svarových spojů a obecně pórovitých materiálů. Středních časů je potřeba u měděných materiálů. Delších časů je naproti tomu potřeba u ocelí, austenitických a niklových materiálů a obecně u tvářených výrobků a malých, úzkých trhlin nebo vad ve spojení.

Dalším kritériem ovlivňujícím viskozitu je teplota. Podle EN 571-1 musí být teplota v rozmezí od 10 °C do 50 °C, ve zvláštních případech může být nižší než 5 °C.

3.4 Mezičištění

Při mezičištění je třeba odstranit přebytek penetrantu z povrchu, ale zachovat penetrant v necelistvostech. Není-li přebytek penetrantu dostatečně odstraněn, vývojka se zbarví i v místech bez necelistvostí, čímž vytváří falešné indikace, nebo vytvoří růžové či fluorescenční pozadí, a proto nelze vůbec nebo velmi obtížně, indikace necelistvostí hodnotit.

Při nadměrném mezičištění může být naopak penetrant zcela nebo částečně z necelistvostí odstraněn.

Účinnost mezičištění se musí kontrolovat vhodným způsobem za vhodných podmínek. EN 571-1 uvádí pro penetranty typu I - fluorescenční - minimální intenzitu UV-A na zkoušeném povrchu 300 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

3.4.1 Penetranty odstranitelné rozpouštědly

U prostředků odstranitelných rozpouštědly se mezičištění doporučuje provádět následujícím způsobem. Nejprve otěrem suchou látkou nebo stěrkou nahrubo, dále otěrem látkou navlhčenou rozpouštědlem a poté dočištění suchou látkou. EN 571-1 povoluje nanášení rozpouštědla přímo na zkoušenou součást, je-li to dohodnuto mezi smluvními stranami.

3.4.2 Vodou smytné penetranty

Vodou smytné penetranty obsahují lipofilní emulgátor, a lze je tedy, po uplynutí penetrační doby odstranit vodou. Během penetrační doby dojde k emulgaci. Odstraňování lze provést otíráním vlhkým hadrem, ostřikem, oplachem nebo sprchou.

Při mezičištění vodou existuje náchylnost k vymytí penetrantu z necelistvostí, což je podle normy nepřipustné. Podle EN 571-1 by neměla teplota oplachové vody překročit 50 °C. Oplachová voda musí být samozřejmě čistá, prostá kontaminantů.

Vodou smytné barevné penetranty jsou relativně málo citlivé a používají se proto pro zkoušení drsných, velkých ploch. Hlavní použití je v průmyslu zpracování materiálů, slévárenství a při výrobě tlakových nádob.

3.4.3 Postemulgační penetranty

Postemulgační penetranty neobsahují emulgátor. Nedají se tedy odstranit vodou. Proto se po uplynutí penetrační doby nanáší na zkoušený povrch emulgátor, který během emulgačního času přemění (zemulguje) přebytečný, vodou nesmytný penetrant na povrchu součásti na penetrant vodou odstranitelný. Penetrant v necelistvostech se nesmí přeměnit. Z toho vyplývá důležitost přesného stanovení emulgačního času, který nejvíce ovlivňuje výsledky zkoušky a stanovuje se experimentálně pro konkrétní použití s přihlédnutím k doporučení výrobce penetračních prostředků. Po tomto čase se přebytečný penetrant z povrchu odstraní vodou, ale penetrant v necelistvostech zůstává. Způsoby a parametry pro toto odstraňování vodou jsou totožné s odstraňováním vodou smytných penetrantu.

Emulgátory se rozlišují na **lipofilní** na bázi olejů a **hydrofilní** na bázi vody.

Nanášení probíhá buď ponorem součástí do emulgátoru nebo pouze v případě hydrofilních emulgátorů nástřikem nebo pěnou. Nanášení emulgátoru štětcem je zásadně zakázáno.

Odstraňování přebytečného penetrantu pomocí hydrofilního emulgátoru se provádí ve třech krocích:

1. **předoplachem**, ihned po uplynutí doby penetrace je nutné zkoušené předměty opláchnout vodou,
2. **nanesením emulgátoru**, ponorem, nástřikem nebo pěnou,
3. **konečným oplachem**, po uplynutí emulgačního času se provede konečný oplach vodou za stejných podmínek jako při odstraňování emulgačních penetrantů.

3.5 Vyvolávání

3.5.1 Funkce vývojky

Jakmile je povrch zbaven penetrantu a čističe vystupuje penetrant obsažený ve vadách na zkoušený povrch a opouští místa vad. V takovém okamžiku je nutné nanést vývojku. Úkolem vývojky je nasát penetrant z necelistvosti. Zrnka vývojky vytvářejí síť kapilár menších než u zjišťované necelistvosti. Protože výška kapaliny v kapiláře je nepříměrně úměrná jejímu průměru, mají tyto tenké „kapiláry“ větší savou schopnost než povrchové necelistvosti. Penetrant se však dostává také do stran a proto je velikost indikace obvykle větší, než necelistvost, která ji vyvolala.

Vývojka má být nanesena tak, aby vytvořila rovnoměrnou, přiměřeně silnou vrstvu. Pokud je vývojka nanesena v přiměřené tenké vrstvě je penetrant z vady „vytažen“ na povrch, kde se zviditelní nebo může být zviditelněn (UV-světlo). Je-li vývojka nanesena v příliš silné vrstvě, nemůže penetrant snadno proniknout až na povrch nanesené vrstvy vývojky. Indikace jsou v takovém případě nezřetelné nebo žádné. Pokud je vývojka nanesena v tenké vrstvě, neodpadá její sací schopnost, ale snižuje se její schopnost vytvořit kontrastní pozadí pro barevný penetrant.

Používané druhy vývojek dle EN 571-1:

- suchá vývojka - „a“,
- mokrá vodná vývojka - vodný roztok - „b“,
- mokrá vodná vývojka - vodná suspenze - „c“,
- mokrá nevodná vývojka - na bázi rozpouštědel - „d“,
- vývojka pro speciální použití - snímatelná vývojka - „e“- ta však neslouží ke zjišťování necelistvosti, ale k jejich záznamu.

Posouzení indikace je vždy provedeno po ukončení vyvíjecího času. Ten je podle EN 571-1 stanoven v rozmezí 10-30 minut. Delší čas může být dohodnut smluvními stranami [3].

3.5.2 Sušení před a po nanesení vývojky

Provádí-li se vyvolávání indikací se **suchou vývojkou** nebo **vývojkou na bázi rozpouštědel**, musí být zkoušený povrch před nanesením vývojky suchý. Zkoušený povrch musí být suchý také při zkoušení fluorescenčními penetranty bez aplikace vývojky.

Podle EN 571-1 musí být zkoušený povrch osušen co možná nejdříve po odstranění přebytečného penetrantu jedním z následujících způsobů, nebo jejich kombinací:

- otíráním čistou suchou utěrkou, která nepouští vlákna,
- ponorem do horké vody a následným odpařením,
- odpařováním při zvýšené teplotě,
- sušení proudem vzduchu.

Je-li zkoušená plocha čištěna rozpouštědly, musí být povrch osušen pomocí přírodního odpařování. Je-li čištěna vodou musí být v souladu s předpisy sušena cirkulujícím teplým vzduchem. EN 571-1 udává, že teplota zkoušeného povrchu nesmí během sušení překročit 50 °C, není-li stanoveno jinak.

Mokrý vodný vývojky se nemusí nanášet na suché povrchy. Mohou se nanášet na vodou očištěné povrchy, a po nanesení se suší odpařením a/nebo v sušičce s nucenou cirkulací vzduchu. Teplota sušení není podle EN 571-1 stanovena.

3.5.3 Nanášení suché vývojky

Suché vývojky lze nanášet jen na suché povrchy. Způsoby nanášení jsou následující:

- naprašování (s nebo bez tlakového vzduchu),
- rozvedení (nanesení) pomocí štětce,
- elektrostaticky,
- ponořením do vývojky (např. naprašovací, vířivá komora).

Vyvíjecí čas začíná ihned po nanesení, protože vývojka ihned získává sací schopnost. Nahromadění suché vývojky je nepřipustné a doporučuje se odstranit ji otřepáním, oklepáním nebo ofouknutím čistým, suchým stlačeným vzduchem pod

nízkým tlakem. Kvůli nízké schopnosti nanést vývojku rovnoměrně na zkoušený povrch v dostatečně silné vrstvě, povoluje EN 571-1 suché vývojky používat pouze ve spojení s příslušnými fluorescenčními penetranty, čímž se získá použitelná celková citlivost.

3.5.4 Nanášení mokré vodné vývojky

Mokrá vývojka tvoří **vodný roztok** nebo **vodnou suspenzi**. Mokré vodné vývojky se mohou nanášet na zkoušený povrch ihned po odstranění přebytku penetrantu a před sušením. Metody nanášení jsou:

- polévání,
- ponor,
- nástřík.

Doba ponoru a teplota vývojky se musí stanovit ověřovací zkouškou s ohledem na doporučení výrobce.

Mokré vodné vývojky získávají svoji vlastnost (savost) teprve po odpaření nosné kapaliny - vody. Vyvíjecí čas tedy začíná teprve po vysušení.

3.5.5 Nanášení mokré nevodné vývojky

Nevodné vývojky (na bázi organických rozpouštědel) jsou suspenze bílého prášku a rozpouštědla, dodávají se v uzavřených aerosolových nádobách. Mají nejvyšší citlivost, protože pomocí nástříku jsou jemně a stejnoměrně naneseny na zkoušený povrch. Rozpouštědlo se ihned odpařuje při teplotě místnosti, proto není nutné další sušení. Vývojka je po velmi krátké době aktivní, avšak vyvíjecí čas začíná teprve po odpaření nosného média.

3.6 Vyhodnocování indikací

Indikace jsou vyhodnocovány podle následujícího postupu:

- inspekce,
- interpretace,
- klasifikace,
- vyhodnocení.

Záznam indikací lze provést např. popisem, náčrtkem, speciální vývojkou, fotografií, videozáznamem apod. [10].

3.6.1 Inspekce

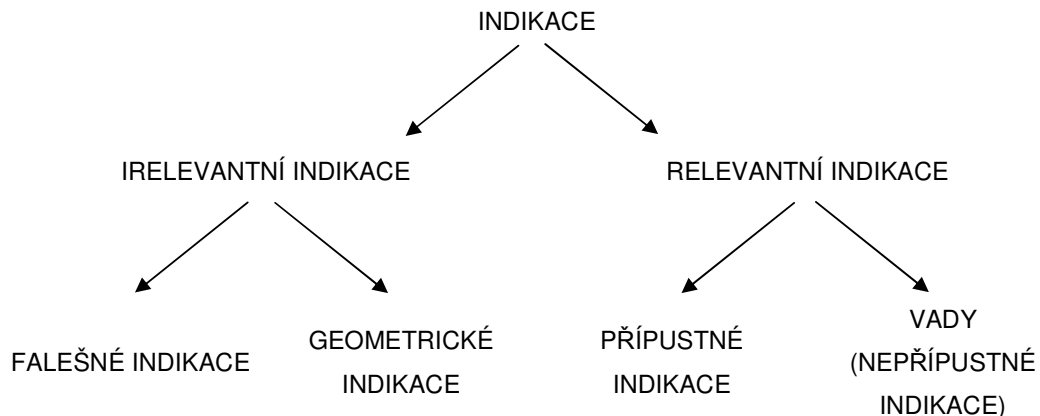
V podstatě znamená hledání a nalezení indikací, které může provádět pracovník s kvalifikačním stupněm 1. Pro inspekci je třeba zajistit podmínky, tak jak je předepisují normy, předpisy, instrukce.

Pracovníci nesmí používat černé nebo fotochromatické brýle, adaptace jejich zraku na přítomnost by měla být alespoň 5 minut, UV-A záření nesmí zasáhnout jejich oči a v jejich dohledu nesmí být látky a předměty, které fluoreskují.

Pracovníci musí mít 1 x ročně (očním) lékařem (optikem) potvrzenou prohlídku očí na vidění na blízko a na barvocit - nebo ekvivalentní zkoušku.

3.6.2 Interpretace

Je v zásadě rozhodnutí, zda je indikace relevantní pro hodnocení nebo nikoliv. Toto rozhodnutí může provést pracovník s kvalifikačním stupněm 1. Na následujícím obrázku je vyhodnocovací schéma.



Falešné indikace, způsobené chybou v penetračním postupu, např. textilním vláknem, vlasem, nedostatečným mezičištěním, zašpiněním atp.

Geometrické indikace, způsobené přechodem průřezu, mazacím otvorem, závitěm, zápalem, vrubem atp.

Přípustné indikace, které účel použití dílu neohrožují.

Vady (nepřípustné indikace), které účel použití dílu ohrožují.

Indikace geometrie a falešné indikace však mohou relevantní indikace zakrývat, nebo simulovat. Takovéto indikace se musí považovat za závažné, dokud se neprokáže, že jsou skutečně indikacemi nezávažnými a že nepřekrývají indikace závažné.

3.6.3 Klasifikace

Posouzení indikace podle tvaru (lineární-okrouhlá nebo nelineární-podélná), podle vzájemné polohy indikací (izolovaná, řádková, shluková, násobná uspořádaná, násobná neuspořádaná, povrchové průsečky), tak jak to vyžadují jednotlivé normy, předpisy pro vyhodnocování výsledků kapilární zkoušky [11].

3.6.4 Vyhodnocení

Je v porovnání nálezů s hodnotami uvedenými v normě, v předpisu. Vyhodnocení může probíhat na úrovni je porovnání nálezů:

- nominální, ano / ne - např. AD Merkblatt. Indikace trhlin jsou nepřijatelné,
- ordinální, podle atlasu fotografií kapilárních indikací,
- metrické, změřením indikací a porovnání s příslušnými hodnotami v normách nebo předpisech.

3.7 Konečné čištění

Zbytky kapilárních prostředků mohou v některých případech součást poškozovat, nebo zabraňovat dalšímu použití součásti. V takovém případě je nutné co nejdříve z povrchu zbytky kapilárních prostředků odstranit. Suchou práškovou vývojkou lze účinně odstranit ofukováním vzduchem nebo ji lze odstranit vodou. Povlaky mokrých vývojek lze účinně odstranit oplachem vodou. Zbytky penetrantu lze odstraňovat rozpouštědly. U dílů se sklony ke korodování se doporučuje konzervace (např. naolejování) povrchu po ukončení zkoušky.

4. Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT

Nedestruktivní kapilární metoda vychází z řady norem, které musí být striktně dodržovány. Normy se nevztahují jen na zkoušení, ale zapotřebí je také zajištění, aby zkoušení prováděli vyškolená a zkušená osoba, která musí mít certifikát. Ten přiděluje certifikační orgán, který se musí splňovat požadavky EN ISO/IES 17024 [9].

4.1 Kvalifikační stupně

Osoby po získání certifikátu jsou zařazeny do jednoho nebo více následujících stupňů. V závislosti na příslušné kvalifikaci, musí být prokázána odborná způsobilost u jednotlivých stupňů:

- **stupeň 1**, provádí nedestruktivní zkoušení podle písemných instrukcí, ale nesmí být odpovědný za výběr použité zkušební metody nebo techniky, ani za vyhodnocení výsledků zkoušky,
- **stupeň 2**, provádí nedestruktivní zkoušení podle zavedených nebo uznávaných způsobů, definuje omezení při použití zkušební metody, dohlíží na zkoušení všech činností v nižší skupině než 2,
- **stupeň 3**, řídí činnost při nedestruktivním zkoušení, plně zodpovídá za zkušební zařízení, zkušební středisko a pracovníky, dohlíží na splnění všech povinností ve stupni 1 a 2, připravuje směrnice pro pracovníky NDT ve všech skupinách.

4.2 Způsobilost osob

Každý uchazeč před kvalifikační zkouškou musí splňovat minimální požadavky jak na zrakové schopnosti, tak minimální požadavky na průmyslovou praxi před certifikací.

4.2.1 Školení uchazečů a praxe

Uchazeč, který žádá o certifikaci, musí absolvovat školení, které se zaměřuje jak na praktickou část, tak i na teoretickou část. Minimální délka školení a praxe, které uchazeč absolvuje a musí splňovat pro příslušnou NDT odpovídá v tabulce.

Tabulka č. 2: Minimální požadavky na školení

NDT metoda	Stupeň 1	Stupeň 2	Stupeň 3
PT – zkoušení kapilární metodou	16 hodin	24	24
Základní znalosti (přímý přístup ke stupni 3)	–	–	80
Minimální průmyslová praxe	1 měsíc	3 měsíce	12 měsíců

4.2.2 Kvalifikační zkoušky uchazečů

Zkoušky pro stupeň 1 a stupeň 2:

Všeobecná zkouška. Otázky jsou ze souboru otázek certifikačního orgánu nebo pověřeného kvalifikačního orgánu. Uchazeč vybírá správnou odpověď z více variant. Poskytnutý čas je založen na počtu a obtížnosti otázek. Minimální počet otázek je 30.

Specifická zkouška obsahuje pouze otázky, které jsou vybrány ze souboru certifikačního orgánu nebo kvalifikačního orgánu. Průměrný čas na řešení jedné otázky nesmí být delší než tři minuty, uchazeči vybírají z více variant. Testy jsou v rozsahu minimálně 20 otázek s vícenásobnou možností odpovědi. Pokud zkouška zahrnuje dva nebo více sektorů, musí být v rozsahu minimálně 30 otázek, které jsou rovnoměrně rozloženy mezi příslušné sektory.

Praktická zkouška zahrnuje použití zkušební metody pro předepsané zkušební vzorky a zapsání výsledných údajů v požadovaném rozsahu a formě. Zkušební vzorky musí být jednoznačně označeny a mít protokol, který obsahuje všechny specifické vady. Protokol je sestaven na základě dvou nezávisle vyhodnocených zkoušek a musí být validován pověřeným držitelem certifikátu ve stupni 3. Průměrný povolený čas pro stupeň 1 jsou dvě hodiny a uchazeč musí dodržovat NDT instrukci poskytnutou zkušebním komisařem. Pro stupeň 2 je povolený čas na vypracování tři hodiny a uchazeč si musí zvolit sám použitelnou NDT techniku.

4.2.3 Vyhodnocení zkoušek pro stupeň 1 a stupeň 2

Za vyhodnocení odpovídá zkušební komisař. Všeobecná, specifická a praktická zkouška musí být vyhodnocena samostatně. Vyhodnocení praktické zkoušky je podle váhového faktoru s ohledem na stupeň a metodu. Pro přístup k certifikaci musí uchazeč dosáhnout minimálně 70 % v každé části zkoušky.

4.2.4 Obsah a hodnocení zkoušky pro stupeň 3

Zkouška pro stupeň 3 se skládá ze dvou zkoušek:

Základní zkouška. Uchazeč musí dokázat nejen technické znalosti z nauky o materiálu a výrobní technologie, ale také znalost certifikačního a kvalifikačního systému certifikačního orgánu, a všeobecnou znalost nejméně čtyř metod podle požadavků pro stupeň 2, ze kterých musí být alespoň jedna metoda objemová (UT nebo RT). Minimální požadovaný počet otázek je 60.

Zkouška z hlavní metody vyžaduje znalosti na úrovni 3, které se vztahují na použitou zkušební metodu, správné použití NDT metody v příslušném sektoru (mohou být použity podklady, např. pravidla, normy a specifikace), navržení jednoho nebo několika NDT postupů v příslušném sektoru.

Pro úspěšné splnění zkoušek, musí uchazeč získat minimálně 70 % z každé zvlášť. Uchazeč, který nedosáhl požadovaného hodnocení, může dvakrát opakovat po úspěšném absolvování doplňkového školení schváleného certifikačním orgánem.

4.2.5 Platnost certifikace

Po uplynutí platnosti certifikace, musí certifikovaná osoba projít recertifikací u certifikačního orgánu.

Držitel certifikátu stupně 1 a 2 musí úspěšně vykonat praktickou zkoušku podle zjednodušeného postupu, která zahrnuje vyzkoušení zkušebních vzorků pro obnovované platnosti certifikace a kromě toho pro stupeň 2 vypracovat písemnou instrukci vhodnou pro použití pracovníkem se stupněm 1. Úspěšné složení vyžaduje alespoň 70 % pro každý vzorek. Při neúspěchu je možné jedenkrát opakovat celou recertifikační zkoušku nejdříve po 7 dnech.

Držitel certifikátu stupně 3 musí úspěšně vykonat písemnou zkoušku, která prokazuje porozumění běžných NDT technik, norem, pravidel nebo specifikací a používané technologie nebo splnit požadavky systému strukturovaného zápočtu. Podmínky pro úspěšné složení či opakování jsou stejné jako pro stupeň 1 a 2.

5. Klasifikace a vyhodnocení indikací

Normy pro vyhodnocení indikací definují druh vyhodnocovaného výrobku, oblast kontroly, podmínky pro kontrolu, metody kontroly, přijímací kritéria a interpretaci výsledků. Součástí přijímacích kritérií jsou kromě definic indikací i stupně jakosti.

5.1 Definice indikací

Přestože pomocí kapilární metody vzhledem k jejím fyzikálním vlastnostem není možné změřit velikost nečistosti, normy předepisují změřit její indikaci. Na základě rozměrových vlastností lze každou indikaci označit za lineární či nelineární. Větší celky pak tvoří skupiny těchto indikací, které lze opět rozměrově hodnotit.

Kritéria pro hodnocení indikací zavádějí kvalitativní pojmy jakou jsou:

- délka indikace,
- šířka indikace,
- tloušťka kontrolované stěny,

- nelineární izolovanou indikaci,
- nelineární shlukovou indikaci,
- seřazenou indikaci,
- lineární indikaci.

Pro porovnání byly vybrány čtyři normy, které se od sebe liší na základě typu technologického celku, který je vyhodnocován:

- ČSN EN 1289 - nedestruktivní zkoušení svarů,
- ČSN EN 10228-2 – nedestruktivní zkoušení ocelových výkovek,
- ČSN EN 1371-1 – odlitky odlévané do pískových forem, do trvalých forem gravitačně a pod nízkým tlakem,
- ČSN EN 1371-2 – přesně lité odlitky [7].

5.2 Izolované indikace

Jsou nejmenší samostatně hodnotitelné obrazce necelistvosti. Na základě geometrických kritérií se rozdělují na dva druhy.

Lineární indikace má délku větší, než je trojnásobek její šířky, což platí pro normu ČSN EN 1289 a ČSN EN 10228-2. Naproti tomu pro normy ČSN EN 1371-1 a ČSN EN 1371-2 má délku větší nebo rovnu trojnásobku šířky. Jde spíše o teoretickou zajímavost, která při praktickém zkoušení nemá zásadní význam.

Nelineární indikace má analogicky délku menší nebo rovnu trojnásobku šířky pro ČSN EN 1289 a ČSN EN 10228-2 resp. menší než trojnásobek šířky pro ČSN EN 1371-1 a ČSN EN 1371-2.

Z principu toho, jaké necelistvosti indikace reprezentují jestli protáhlé či okrouhlé vady a vzhledem k povaze šíření vad v materiálech při namáhání je zřejmé, že necelistvosti reprezentované lineárními indikacemi jsou závažnější.

5.3 Skupiny indikací

Každá norma definuje skupinové indikace odlišně. Některé normy hodnotí pouze indikace v řadě, jiné k tomu přidávají shluk indikací v celé ploše. Navíc je možné v případě některých norem hodnotit indikace na základě referenčních obrazců.

Referenční obrazce se používají takovým způsobem, že se nad nejméně příznivou oblast umístí rámeček o příslušných rozměrech, pozorované indikace musejí odpovídat určitému stupni jakosti. Indikace jsou považovány za ekvivalentní, pokud je

zjištěno, že stejné množství nelineárních skvrn a/nebo stejná délka lineárních indikací podobného vzhledu se vyskytuje jak na testovaném výrobku tak v referenčním obrazení.

V následujícím jsou uvedeny skupiny indikací hodnocených podle norem:

ČSN EN 1289 definuje, že jakékoliv vedle sebe ležící indikace, vzájemně oddělené vzdáleností menší, než je hlavní rozměr menší indikace, musí být považovány za jednu spojitou indikaci.

ČSN EN 10228-2 považuje indikaci za souvislou jestliže dvě nebo více indikací v jedné linii vykazují vzdálenost menší než pětinašobek délky delší z indikací (měřeno od okraje k okraji). Navíc norma definuje celkovou délku lineárních indikací jako součet všech délek lineárních indikací na ploše 105 mm x 148 mm.

ČSN EN 1371-1 definuje kromě nelineární izolované ještě **shlukovou indikaci**, tedy oblast více nelineárních indikací mezi nimiž nelze prakticky změřit vzdálenost. V dalším definuje **lineární seřazenou indikaci**, kde vzdálenost mezi dvěma indikacemi je menší než délka nejdelší neclistvosti v seřazení. A jako poslední nelineární seřazenou indikaci, což jsou nejméně tři indikace se vzdáleností menší než 2 mm. Navíc tato norma zavádí klasifikaci indikací podle referenčních obrázců na ploše 105 mm x 148 mm.

ČSN EN 1371-2 používá stejnou definici skupinových indikací jako ČSN EN 1371-1, přičemž oblast kontroly je oproti předchozí normě pouze 25 mm x 25 mm [8].

5.4 Další kritéria při klasifikaci indikací

ČSN EN 1289 zavádí další kritéria, že šířka zkoušeného povrchu musí kromě samotného svaru zahrnovat i oblast 10 mm na každou stranu od svaru. Dále zavádí tři stupně přípustnosti, které se liší velikostí indikací.

ČSN EN 10228-2 definuje 4 třídy jakosti, které se liší velikostí přípustných indikací.

ČSN EN 1371-1, 2 definují osm stupňů jakosti a rozlišují velikost závažných indikací podle tří typů tlouštěk materiálu [10].

Obrázek č. 1: Zjištěná indikace pomocí a) červeného penetrantu, b) UV-světla



Zdroj: Firemní literatura firmy ATG, s.r.o.

6. Zkušební zařízení

Výrobce kapilárních zkušebních prostředků je zodpovědný za to, že penetrant, čistič a vývojka jsou vůči sobě vhodně zvoleny, mají optimální citlivost pro celkové provedení zkoušky. Tato záruka platí pouze tehdy, pokud uživatel používá prostředky od jednoho výrobce. Zkušební systém musí být podle EN ISO 3452-2 ověřen tzv. typovou zkouškou, kterou zajišťuje výrobce u nezávislé zkušební laboratoře, která je pro tyto zkoušky akreditovaná.

Výrobce kapilárních zkušebních prostředků, musí podle této normy ověřit, že každá šarže kapilárních prostředků vykazuje stejné vlastnosti jako při typové zkoušce. Tuto zkoušku (kontrolu) šarže musí výrobce potvrdit vystavením certifikátu.

Uživatel kapilárních prostředků je podle této normy povinen provádět periodicky určité stanovené kontrolní zkoušky procesu, postupu a vést o nich záznam.

V případě, že se zkušební podmínky odchýlí od podmínek typové zkoušky, je potřeba použít kontrolní měrky, které umožní posoudit citlivost a účinnost systému podle standardních podmínek [6].

6.1 Přenosné zkušební soupravy

Přenosné zkušební soupravy obsahují penetrant, čistič a vývojku, které jsou plněny do aerosolových nádob. Pro obě metody, barevnou i fluorescenční, jsou nejvíce používány typy odstranitelné rozpouštědly. Tyto prostředky bývají nejčastěji použity na průmyslových stavbách, při údržbě zařízení, strojů, letadel, vozidel, na velkých dílech, kde se zkouší pouze malé úseky, např. svary zásobníků.

Obrázek č. 2: Penetranty ARDROX, barevné, fluorescenční, duální



Zdroj: <http://www.atg.cz/cz/pdf/katalogy/KatalogNDTProduktu.pdf?PHPSESSID=4528051d6df5951f22e879f4abae5683>

Obecně se dává přednost barevné metodě, která nepotřebuje použití dalších pomocných prostředků na rozdíl od metody fluorescenční.

Zkouška šarže u těchto souprav se skládá ze zkoušky účinnosti systému a ze zkoušky na obsah síry a halogenů.

Kontrolní zkouška procesu potom spočívá v kontrole certifikátu a kontrole záruční doby. V případě použití fluorescenčních penetrantů, se musí provádět další kontroly jako jsou intenzita UV-A záření na kontrolovaném povrchu, intenzita okolního bílého světla, kalibrace radiometru a lux-metru. Pokud se používá emulgační, vodou smytlý penetrant, musí se kontrolovat teplota oplachové vody, a provádět kalibrace teploměru.

6.2 Zkušební kapilární linky

Kapilární linky jsou určeny pro hromadné zkoušení součástí. Sestávají se z řady nádrží, boxů pro jednotlivé kapilární prostředky, zařízení pro odstraňování přebytečného penetrantu, odstavných a odkapávacích míst, sušiček, vyhodnocovacího pracoviště a řady níže uvedených pomocných zařízení.

Přenosné díly, kusové i hromadné výroby jsou často zkoušeny v kapilárních linkách tak, že jsou ukládány do košů nebo zavěšovány a co nejvíce je jejich kontrolováno v jednom pracovním chodu. Tím se získá vyšší efektivnost práce.

V průmyslu výroby materiálu je převážně používána barevná metoda, naproti tomu v leteckém a automobilovém průmyslu se vzhledem k požadavku vyšší citlivosti a způsobilému povrchu používá metoda fluorescenční.

Podle použité techniky se sestavy zařízení liší. Kapilární linky využívají emulgační nebo postemulgační způsob s mokrou nebo suchou vývojkou.

Požadavky na vybavení stabilních míst pro kapilární kontrolu podléhají normě EN ISO 3452-4 - NDT-Kapilární zkouška-Část 4: Vybavení. Veškerý konstrukční materiál, který přijde do styku s penetračními prostředky, musí být s nimi kompatibilní. Není jimi poškozován a nemění jejich vlastnosti.

Kapilární linky lze rozdělit podle přepravy zkoušených kusů mezi jednotlivými nádržemi na:

- **ruční**, přeprava a ponořování je prováděna ručně obsluhou,
- **poloautomatizované**, přeprava a ponořování je prováděna pomocí zvedacího pojezdového zařízení obsluhou,
- **automatizované**, přeprava a ponořování je plně automatizováno a řízeno pomocí řídicího automatu, zpravidla PLC.

V následujícím jsou uvedeny jednotlivé funkční části linky.

Prostory pro přípravu a předčištění. Provádí se odmašťování v parách rozpouštědla, odmašťované součásti se zavěsí, nebo položí na rošt nad nádobu s vhodnou kapalinou, která se přivádí do varu. Na chladnějším povrchu součástí kondenzuje a uvolňuje tuky a oleje jak z povrchu, tak z nečistostí a odkapává s nimi zpět do nádoby. Druhou variantou je alkalické čištění, alkalický čistič na bázi vody působí jako detergent, způsobuje zmýdelnatění a disperzi olejů, které voda odplavuje.

Prostory pro nanesení penetrantu sestávají z nádrží pro ponor, míst pro odkapání, prostor pro nanášení penetrantu nástřikem a to buď stlačeným vzduchem nebo elektrostaticky, záchytné zásobníky a případně odsávání.

Odstraňování přebytku penetrantu. V případě ponoru musí mít nádoba tank míchání, přepad a teploměr.

Sprchování, ostřík je prováděn ručně nebo automaticky vodní pistolí nebo kombinací pistole na vzduch a vodu a nebo sprchovým rozprašovačem. Provádí se kontrola tlaku a teploty a kontrola účinnosti oplachu.

Sušení se provádí podle druhu vývojky buď před nebo po nanesení vývojky. Vybavení sestává ze sušičky s cirkulací horkého vzduchu, teploměrů příp. termostatů.

Nanášení vývojky pro práškovou metodu sestává z naprašovací skříně, elektrostatická pistole nebo konvenční vzduchová pistole a nebo z vířivé komory s uzávěrem, odsáváním a topným článkem, který zabraňuje znehodnocení vývojky vlhkostí. Pro vodnou suspenzi a vodný roztok se zařízení skládá z nádoby pro ponor, zajištění kontinuálního míchání a příp. termostatu. Je-li použita nevodná mokrá vývojka je potřeba zajistit box s odsáváním a zařízení pro nástřik.

Další zařízení, která bývají součástí kapilární linky:

- čerpadla k nástřiku nebo oplachu penetrantu, emulgátoru, vody, odčerpání penetrantu z průtokových nádrží k nanášení vývojky a k sušení součástí,
- instalované lázně a trysky musí být opatřeny výpustnými kohouty,
- ponořovací koše, s vlastnostmi dobrého opětovného očištění,
- hodiny pro kontrolu penetračních, vyvíjecích a sušících časů,
- termostaty pro řízení teploty v sušičkách,
- světlo a UV lampy pro kvalitní vyhodnocování,
- pro ověření podmínek kontroly luxmetry pro barevnou metodu nebo UV-metry pro fluorescenční metodu,
- zařízení pro likvidaci odpadu, filtru z aktivního uhlí, ultrafiltrace, znehodnocení emulgátoru.

Na následujícím obrázku je uveden příklad automatické imerzní kapilární linky pro testování automobilových dílů fluorescenční metodou. Rošt s háky, na kterých jsou obsluhou linky zavěšeny díly, se automaticky pohybuje mezi jednotlivými procesy. Jednotlivé vany se po zastavení roštu zvedají nahoru, proti zavěšeným dílům.

Toto řešení bylo z manipulačního a konstrukčního hlediska nejvhodnější. Celý proces včetně technologických podprocesů je pak řízen programovatelným logickým automatem PLC.

Obrázek č. 3: Kapilární linka



Zdroj: Firemní literatura spol. ATG, s.r.o.

Samotný kapilární proces pak sestává z následujících pracovních podprocesů:

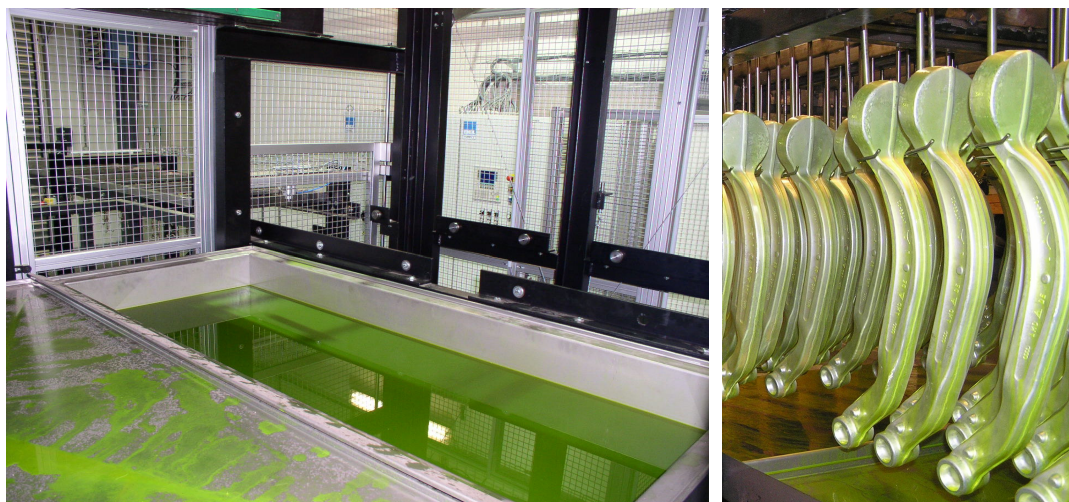
1. zavěšení dílů na háky,
2. zasunutí roštu do výtahu a automatického transportu nad penetrační vanu,
3. penetrace fluorescenčním penetrantem,
4. okap penetrantu, je volen jako samostatné pracoviště kvůli zkrácení času v místě penetrace a tím urychlení taktu linky,
5. první oplach,
6. druhý oplach,
7. aplikace vodné vývojky,
8. sušení v sušící peci,
9. vyhodnocení indikací v kryté inspekční kabině.

Obrázek č. 4: Kapilární linka - vany



Zdroj: Firemní literatura spol. ATG, s.r.o.

Obrázek č. 5: Zkoušené díly po penetraci



Zdroj: Firemní literatura spol. ATG, s.r.o.

6.3 Zařízení pro emisi ultrafialového záření – UV lampa

UV lampa sestává z následujících částí:

- tlumivky,
- tělesa lampy,
- rtuťové výbojky,
- filtru.

UV záření je emitováno ve rtuťové výbojce, kde hoří elektrický oblouk mezi dvěma elektrodami. Výbojka dává široké spektrum UV záření a viditelného světla, přičemž viditelné světlo a část UV záření je pohlcováno filtrem (Woodovo sklo). V praxi se využívá záření cca 365 nm (UV-A) vlnové délky a vyznačuje se schopností budit fluorescenci (žluto-zelené barvy cca 565 nm) některých látek.

Minimální čas k vytvoření plného výkonu je cca 5-10 minut. Norma EN ISO 3059 udává minimální dobu pro měření 10 minut po zapnutí.

Obrázek č. 6: Ruční a stacionární lampy



Zdroj: <http://www.atg.cz/cz/pdf/katalogy/KatalogNDTProduktu.pdf?PHPSESSID=4528051d6df5951f22e879f4abae5683>

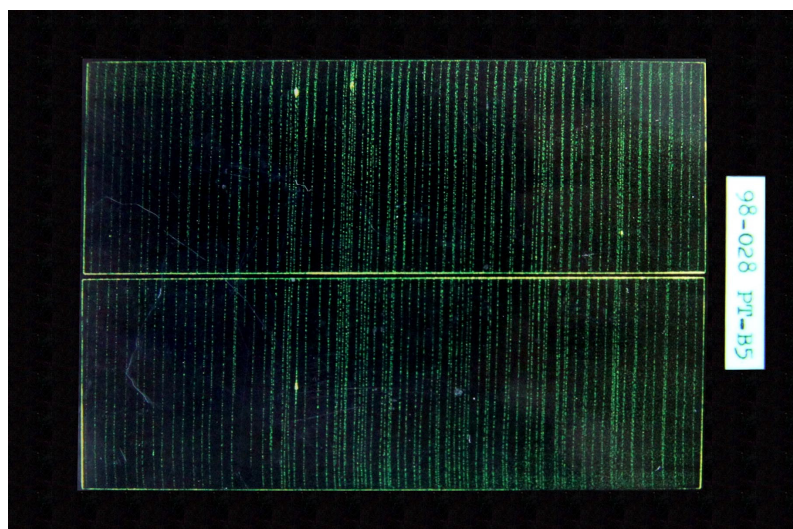
6.4 Kontrolní měrky

EN 3452-3 popisuje dva typy kontrolních měrek. Typ 1 a typ 2.

Typ 1 se používá pro určování stupňů citlivosti barevných a fluorescenčních systémů. Je to sada čtyř obdélníkových mosazných destiček opatřených chromniklovými vrstvami o tloušťkách 10, 20, 30 a 50 μm , ve kterých jsou uměle (natahováním) vytvořeny příčné trhliny jejichž šířka je závislá na tloušťce vrstvy (přibližně 1:20). S vrstvami o tloušťce 10, 20 a 30 μm a citlivostí 3, 2 a 1 jsou určeny pro fluorescenční systémy a s tloušťkami 30 a 50 μm a citlivostí 2 a 1 pro barevné systémy.

Typ 2 se používá pro pravidelné posuzování funkce (účinnosti) kapilárních systémů. Jedná se o obdélníkovou destičku z nerezové oceli, která má dvě části. Jednak oplachovou plochu, (kterou tvoří čtyři vedle sebe ležící plochy s drsností Ra 2,5, 5, 10 a 15 μm), která slouží ke kontrole smytelnosti. A jednak vadovou plochu (umístěná na druhé polovině destičky), která je pokovena vrstvou niklu (60 μm) a chrómu (0,5-1,5 μm). Pomocí pěti vtisků „definovaného tělesa“ provedených různým, definovaným zatížením vznikne pět umělých vad (rozvětvené trhliny) různých velikostí. Vady jsou od sebe stejně vzdáleny a uspořádány podle velikosti tak, že největší leží proti oplachové plošce s největší drsností. Vadová plocha slouží k posuzování funkce (účinnosti) kapilárních systémů.

Obrázek č. 7: Kontrolní měrka pro fluorescenční systémy



Zdroj: Firemní literatura spol. ATG, s.r.o.

6.5 Typové zkoušky a zkoušky šarže

Typová zkouška (zkouška vzorku), kterou zajišťuje výrobce u nezávislé zkušební laboratoře, která musí mít pro tyto zkoušky akreditaci. Nezávislá laboratoř pak vystaví certifikát a podrobný protokol o získaných výsledcích.

Zkouška (kontrola) šarže. Výrobce kapilárních zkušebních prostředků, musí podle této normy ověřit, že každá šarže kapilárních prostředků vykazuje stejné vlastnosti jako při typové zkoušce. Tuto zkoušku (kontrola) šarže musí výrobce potvrdit vystavením certifikátu [5].

6.6 Kontrolní zkoušky procesu a bezpečnostní listy

Podle EN 571-1, musí uživatel provádět, nebo zajistit provedení, určitých zkoušek. Odpovědnost za tyto zkoušky a za jejich rozsah nese pracovník s kvalifikačním stupněm 3.

ČSN EN 3452-2 uvádí: Uživatel musí provést nebo zajistit následující kontroly s touto frekvencí:

Na začátku každé pracovní periody:

- připravenost prostředků,
- funkce (výkonnost) systému pomocí kontrolní měrky 2 podle ČSN EN ISO 3452-3,
- vzhled penetrantu,
- vzhled a teplota oplachové vody,

- teplota sušičky,
- pracovní plocha,
- neporušenost UV-A filtrů,
- vzhled suché vývojky,
- kontaminaci suché vývojky fluorescenčními látkami,
- koncentraci, smáčivost, teplotu a fluorescenci vodou rozpustné vývojky,
- koncentraci, teplotu a fluorescenci vývojky ve formě vodné suspenze.

Týdně:

- filtr tlakového vzduchu.

Měsíčně:

- intenzita UV-A záření podle ČSN EN ISO 3059,
- osvětlení pozadí v inspekční kabině penetrantu (typ I),
- osvětlení penetrantu (typ II),
- intenzitu fluorescence,
- intenzita barevného kontrastu.

Ročně:

- revize u dodavatele,
- kalibrace teploměrů a tlakoměrů.

Do 24 měsíců:

- kalibraci UV-A radiometrů a luxmetrů.

Při přípravě:

- koncentraci hydrofilního emulgátoru.

Dosažené výsledky musí být podle EN 3452-2 zaznamenány.

Výrobce kapilárních prostředků musí uživateli poskytnout bezpečnostní list, který obsahuje pravidla, jak zacházet s jednotlivými chemickými prostředky. Před zahájením prací by měli být pracovníci informováni o nebezpečných vlastnostech těchto prostředků, o rizicích spojených s nakládáním s nimi a jaká opatření je třeba provést k minimalizaci rizika.

6.7 Souhrn

Výběr vhodného zkušebního zařízení je dán několika kritérii. Odvíjí se od materiálu testovaného dílu, jeho rozměrů, velikostí nepřipustných vad, počtu dílů, variabilitě rozměrů dílů, finanční situaci, zázemí a vybavení provozovny.

Je-li třeba testovat v terénu, testovat jenom zřídka či ve velké variabilitě rozměrů a typů dílů, a je-li postačující jeden zkušební pracovník, je spíše vhodnější a ekonomičtější použít přenosnou sadu s barevným penetrantem.

Je-li kladen důraz na dodržení přesných technologických parametrů, potřeba zkoušet nárazově malé série dílů v časově omezených termínech s více pracovníky, je-li možné zajistit vhodné pracovní prostory, je zpravidla vhodné pořídit manuální či poloautomatickou kapilární linku. V takovém případě již obvykle vzniká požadavek na alespoň jednoho pracovníka s kvalifikačním stupněm 3.

V případě stálé velkosériové přidružené výroby, kde je kladen důraz na efektivnost, čas a zároveň na co nejnižší provozní náklady bývá nejekonomičtější řešením automatizovaná kapilární linka.

7. Závěr

Tato práce je věnována jedné z nedestructivních testovacích metod – nedestructivní kapilární defektoskopii.

Stejně jako všechny výrobní a zkušební technologie i kapilární defektoskopie podléhá řadě přísných pravidel, předpisů, doporučení a omezení, které jsou shrnuty v celé řadě norem.

Jednou z hlavních součástí práce bylo tyto normy prostudovat spolu s ostatním odborným materiálem. V zásadě lze prostudované normy rozdělit na několik skupin, podle oblastí na které se zaměřují:

- normy popisující zásady a provádění kapilární zkoušky,
- normy popisující vyhodnocování indikací podle typu výrobku,
- normy určené pro kvalifikaci a certifikaci pracovníků,
- normy charakterizující používané prostředky, vybavení a zařízení.

Na základě znalosti norem a dalších odborných materiálů byly popsány druhy a postupy kapilárního zkoušení, vyhodnocovací kritéria vadových indikací, školení pracovníků NDT a druhy a funkce zkušebních zařízení.

Ve srovnání s ostatními NDT metodami je kapilární metoda relativně levná a poměrně rychlá metoda. Její přednost spočívá v možnosti jednak levného a nenáročného terénního zkoušení tak i v možnosti ekonomického a rychlého velkosériového zkoušení při relativně nízké technologické náročnosti.

Jejími nevýhodami jsou především omezení zkoušení pouze na vady vyúsťující na povrch a problémy s ekologickým odbouráváním kapalných zkušebních prostředků.

Znalosti v oblasti NDT lze pochopitelně dále prohlubovat a rozšiřovat do oblasti dalších zkušebních metod, neboť ve výrobní praxi bývá zvykem otestovat nejen povrch výrobku, ale i jeho objem. V takovém případě se povrchové NDT metody s výhodou kombinují s objemovými, které naopak ze svého principu nemohou bezprostřední povrch materiálu dostatečně prověřit.

Seznam použité literatury

Knižní zdroje

- [1] VĚCHET, Mojmír, et al. *Defektoskopie v otázkách a odpovědích*. 1. vydání. Praha 1989 : Nakladatelství Technické literatury, 323 s. ISBN 80-03-00100-5.
- [2] DUBENSKÝ, Rudolf, et al. *Defektoskopie – nedestruktivní zkoušení*. 2. vydání. ČVUT v Praze 1992. 206 s. ISBN 80-01-00844-4.

Technické normy

- [3] ČSN EN 571-1 01 5017. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha: Český normalizační institut, 1998. 16 s.
- [4] ČSN EN ISO 3452-2 01 5018. *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení kapilární metodou – Část 2: Zkoušení kapilárních prostředků*. Praha: Český normalizační institut, 2007. 32 s.
- [5] ČSN EN ISO 3452-3 01 5018. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 3: Kontrolní měřky*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 12 s.
- [6] ČSN EN ISO 3452-4 01 5019. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 4: Vybavení*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 12 s.
- [7] ČSN EN 1371-1 42 9722. *Slévárství – Kontrola kapilární metodou – Část 1: Odlitky odlévané do pískových forem, do trvalých forem gravitačně a pod nízkým tlakem*. Praha: Český normalizační institut, 1997. 28 s.
- [8] ČSN EN 1371-2 42 9722. *Slévárství – Kontrola kapilární metodou – Část 2: Přesně lité odlitky*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 20 s.
- [9] ČSN EN 473 01 5004. *Nedestruktivní zkoušení – Kvalifikace a certifikace pracovníků NDT – Všeobecné zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 28 s.
- [10] ČSN EN 1289 05 1176. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení svarů kapilární metodou – Stupně přípustnosti*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 8 s.
- [11] ČSN EN 10228-02 01 5040. *Nedestruktivní zkoušení ocelových výkovků – Část 2: Kapilární zkouška*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 12 s.

Internetové zdroje

Postup kapilární defektoskopické zkoušky [online]. c2009 [cit. 2010-02-12]. ISMS.
Dostupné z WWW: <http://www.ndt.cz/?mnu=13>

Kapilární metoda, komplexní zařízení pro PT [online]. c2010 [cit. 2010-02-12].
Dostupné z WWW: <http://www.atg.cz/ndt-202&displaz=PT>

Firemní literatura

[12] MAŘÁNEK, Pavel, *Fyzikální základy*. ATG, s.r.o. 2006. 10 s.

Seznam tabulek

<i>Tabulka č. 1: Zkušební prostředky</i>	<i>9</i>
<i>Tabulka č. 2: Minimální požadavky na školení.....</i>	<i>18</i>

Seznam obrázků

<i>Obrázek č. 1: Zjištěná indikace pomocí a) červeného penetrantu, b) UV-světla</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek č. 2: Penetranty ARDROX, barevné, fluorescenční, duální</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek č. 3: Kapilární linka</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek č. 4: Kapilární linka - vany.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek č. 5: Zkoušené díly po penetraci</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek č. 6: Ruční a stacionární lampy</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek č. 7: Kontrolní měrka pro fluorescenční systémy</i>	<i>30</i>

Seznam použitých zkratek

EN – Evropská Norma

ISO – International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)

UV – Ultra Violet (Ultrafialové záření)

ČSN – Česká technická norma

NDT – Non – Destructive Testing (nedestruktivní testování)

PT – Zkoušení kapilární metodou

UT – Zkoušení ultrazvukem

RT – Radiografické zkoušení

PLC – Programmable Logic Controller