

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra jakosti a spolehlivosti strojů**



## **Bakalářská práce**

**Nedestruktivní zkoušení materiálu magnetickou  
práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou**

**Vojtěch Dolejš**

© 2021 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Dolejš

Zemědělské inženýrství  
Inženýrství údržby

Název práce

**Nedestruktivní zkoušení materiálu magnetickou práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou**

Název anglicky

**Non-destructive material magnetic particle inspection and penetrant fluorescent inspection**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat principy magnetické práškové metody a kapilární fluorescenční metody a porovnat jejich využití pro zjišťování vad na povrchu nebo pod povrchem (trhliny, praskliny, přeložky, póry, vměstky) u feromagnetických a neferomagnetických materiálů.

### Metodika

Práce bude řešena především na základě literárního rozboru. V závěrečné části výsledků práce bude uvedeno několik praktických příkladů z realizovaných zkoušek NDT.

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Popis metod NDT (magnetická metoda prášková, kapilární metoda, porovnání, předpisy)
- 4) Praktické ukázky (ukázky na vybraných vzorcích s popisem a vyhodnocením)
- 5) Závěr

**Doporučený rozsah práce**

30-40

**Klíčová slova**

defektoskopie, penetrant, magnetický prášek, necelistvosti

---

**Doporučené zdroje informací**

DUBENSKÝ, Rudolf; MINAŘÍK, Václav; ČERMÁK, František. Defektoskopie – nedestruktivní zkoušení. Praha – ČVUT 1992. 206s. Fakulta strojní. ISBN 80-01-00844-4

KOPEC, B. – ČESKÁ SPOLEČNOST PRO NEDESTRUKTIVNÍ TESTOVÁNÍ. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí : (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.

Předpisy, periodika a firemní literatura

Ullmann, Jiří. Nedestruktivní zkoušení materiálu. Magnetická metoda prášková: Stupeň 1. PTS Josef Solnař, 2002

---

**Předběžný termín obhajoby**

2020/2021 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 28. 11. 2019

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 28. 11. 2020

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Nedestruktivní zkoušení materiálu magnetickou práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 14. 5. 2021

---

**Poděkování:**

Rád bych poděkoval vedoucímu mé práce panu doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za trpělivost, cenné připomínky, rady a čas, který mi věnoval při zpracování práce. Dále bych poděkoval firmě JIHLAVAN a.s., kde mi bylo umožněno získat informace a provést zkoušky. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu a trpělivost při zpracování práce.

## **Nedestruktivní zkoušení materiálu magnetickou práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou**

### **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá nedestruktivními zkouškami materiálů, magnetickou práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou. První část bakalářské práce je teoretická, jsou zde popsány základní principy těchto metod jak po fyzikální stránce, tak po praktické stránce. Teoretická část práce je zakončena porovnáním těchto metod. V praktické části bakalářské práce jsou popsány pracovní postupy jednotlivých metod a samotné provedení zkoušek, které byly provedeny autorem práce. Je zde také uvedeno jejich vyhodnocení a ukázky indikací.

**Klíčová slova:** defektoskopie, penetrant, magnetický prášek, necelistvosti

## **Non-destructive material magnetic particle inspection and penetrant fluorescent inspection**

### **Summary:**

*The bachelor thesis deals with non-destructive testing of materials, magnetic powder method and fluorescent capillary method. The first part of the bachelor thesis is theoretical, it describes the basic principles of these methods, both physically and practically. The theoretical part of the work ends with a comparison of these methods. The practical part of the bachelor's thesis describes the working procedures of individual methods and tests are performed, which were proved by the author's works. There is also their evaluation and examples of indications.*

**Key words:** *Defectoscopy, penetrant, magnetic powder, imperfection*

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Cíl práce a metodika</b> .....	2
<b>3</b>	<b>Principy metod NDT</b> .....	3
3.1	Magnetická prášková metoda .....	3
3.1.1	Základní fyzikální pojmy .....	3
3.1.2	Příprava povrchu zkoušené součásti .....	6
3.1.3	Magnetizace a magnetizační techniky .....	7
3.1.4	Druhy magnetizačního proudu.....	11
3.1.5	Demagnetizace.....	12
3.1.6	Zkušební prostředky .....	12
3.1.7	Kontrola zkušebního prostředku .....	13
3.1.8	Zkouška účinnosti magnetické práškové metody .....	14
3.2	Fluorescenční kapilární metoda .....	16
3.2.1	Fyzikální pojmy kapilární metody.....	16
3.2.2	Příprava povrchu před zkouškou .....	18
3.2.3	Nanesení penetrantu .....	19
3.2.4	Odstranění přebytečného penetrantu .....	20
3.2.5	Osušení povrchu.....	20
3.2.6	Nanesení vývojky.....	21
3.2.7	Zkouška účinnosti fluorescenční kapilární metody.....	22
3.3	Vyhodnocení nálezů.....	24
3.4	Porovnání metod .....	26
<b>4</b>	<b>Praktické ukázky</b> .....	27
4.1	Magnetická prášková metoda – zkušební postup .....	27
4.1.1	Chemické čišťení .....	27
4.1.2	Magnetická zkouška .....	27

4.2	Fluorescenční kapilární metoda – zkušební postup .....	31
4.2.1	Chemické čištění .....	31
4.2.2	Alkalické čištění .....	31
4.2.3	Penetrační zkouška .....	31
4.3	Ukázka indikací .....	34
4.3.1	Magnetická prášková metoda .....	34
4.3.2	Fluorescenční kapilární metoda .....	34
<b>5</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>41</b>



# 1 Úvod

Kvalita neboli jakost je v dnešní době skloňována ve všech pádech. Zákazníci požadují výrobky určité kvality, a proto se musejí kontrolovat. Jednotlivé součásti jsou kontrolovány v průběhu samotné výroby. Hlavní kontrola nastává až po dokončení všech operací. Tato kontrola se nazývá konečná, kde se rozhoduje o finálním stavu součásti a její kvalitě.

Jedním z možných typů kontroly je defektoskopie neboli nedestruktivní zkoušení materiálů pod zkratkou NDT (Non Destructive Testing). Zkoušený výrobek metodou NDT není demontován či dokonce poškozen za účelem provedení zkoušky, toto je hlavní devíza nedestruktivního zkoušení. Metody NDT se většinou provádí jako poslední proces ve výrobě součásti. Výjimkou jsou však součásti, které potřebují kontrolu během svého provozu.

Metody NDT se dělí hned na několik druhů, počínaje od metody vizuální, která je základem pro ostatní metody. Dalšími metodami zkoušek NDT jsou kapilární metoda, magnetická metoda prášková, radiografická metoda, ultrazvuková metoda, metoda vířivých proudů a zkoušení netěsností. Každá z těchto metod je určena pro specifický druh vad. První skupinou jsou vady charakteristické svým umístěním. Jedná se o vady povrchové nebo vady vnitřní (podpovrchové). Druhá skupina vad se dělí podle charakteru na vady objemové a vady plošné.

Nedestruktivní zkoušení materiálů (NDT) rozhoduje o tom, zdali výrobek splňuje požadavky na jakost a je ho možno poslat do provozu. Během samotné zkoušky se s výrobkem musí zacházet také velmi opatrně, aby nedošlo k jakémukoli porušení a poškození. Je-li po provedení defektoskopie zjištěna vada, je výrobek podle závažnosti vady buď poslán k opravě a znovu se provede zkouška, nebo je vyřazen a sešrotován.

Tato práce se bude zabývat magnetickou práškovou metodou a fluorescenční kapilární metodou. Magnetická prášková metoda se používá pro hledání vad na povrchu a pod povrchem u feromagnetických materiálů. Fluorescenční kapilární metoda se používá při hledání povrchových vad u feromagnetických i neferomagnetických materiálů.

## **2 Cíl práce a metodika**

Cílem bakalářské práce je popsat principy magnetické práškové metody a kapilární fluorescenční metody a porovnat jejich využití pro zjišťování vad na povrchu nebo pod povrchem (trhliny, praskliny, přeložky, póry, vměstky) u feromagnetických a neferomagnetických materiálů.

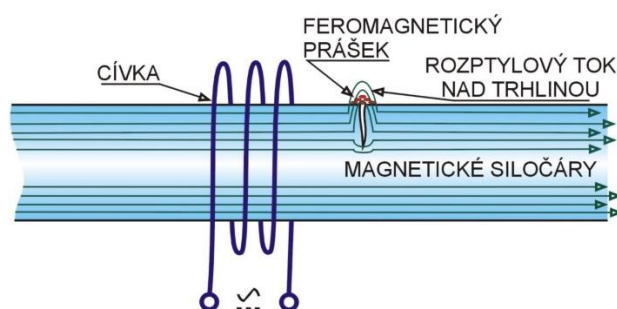
Metodika této práce bude obsahovat zkušební postupy magnetické práškové metody a fluorescenční kapilární metody. Pomocí těchto metod budou provedeny zkoušky na součástech podle předepsaných zkušebních postupů. Magnetickou práškovou metodou bude provedena zkouška na součástech, konkrétně na pístnicích. Fluorescenční kapilární metodou bude provedena zkouška na součástech, konkrétně na hrdlech. Na základě provedených zkoušek bude vyhodnoceno, zda zkoušené součásti vyhovují předepsaným kritériím. Dále zde bude ukázka nalezených indikací, které byly zjištěny pomocí magnetické práškové metody a fluorescenční kapilární metody u dalších zkoušených součástí.

## 3 Principy metod NDT

### 3.1 Magnetická prášková metoda

Magnetická prášková metoda nebo také metoda rozptylových toků se používá pro zjišťování necelistvostí na povrchu nebo pod povrchem zkoušené součásti, jako jsou trhliny, praskliny, přeložky, zavaleniny, póry, vměšky apod., u feromagnetických materiálů. Metoda slouží především ke zkoušení feritických ocelí, litin a někdy i ke zkoušení speciálních slitin železa, kobaltu a niklu. [1], [2], [26], [27]

Pokud se v tomto materiálu vyskytuje vada, tak se při zmagnetizování materiálu magnetickým polem v místě vady vytvoří magnetický rozptylový tok, který vystupuje nad povrch. Tento rozptylový tok je indikován pomocí magnetického prášku, který je na materiál nanesen. Magnetický prášek se v místě detekované necelistvosti seskupí a upozorní na vadu. [1], [2]



Obr. 1 Princip nalezení vady na feromagnetickém materiálu [5]

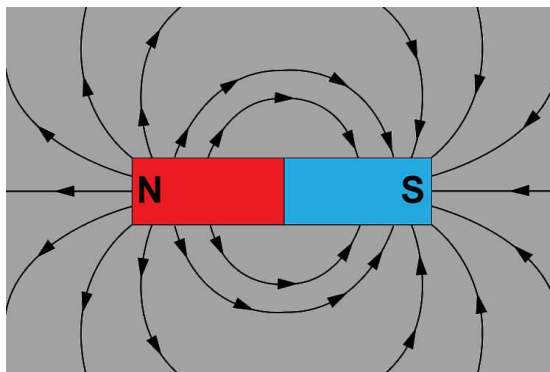
#### 3.1.1 Základní fyzikální pojmy

Tato kapitola definuje základní fyzikální jevy, které se využívají při magnetické práškové metodě.

##### Magnetické pole

Magnetické pole je prostor, ve kterém se projevují silové účinky. Zdrojem magnetického pole je magnet z feromagnetického materiálu. V prostoru působí síly přitažlivé a odpudivé. Na magnet a feromagnetický materiál působí tyto síly, aniž by se navzájem dotýkaly. Pro popis magnetického pole se využívají magnetické siločáry. Magnetické póly (severní a jižní) jsou místem největších silových účinků magnetického pole. Magnetické indukční čáry vystupují ze severního pólu magnetu,

prochází okolním prostředím a vrací se do jižního pólu, kde se indukční čáry uzavírají pomocí vnitřní části magnetu. [1], [2], [13]



Obr. 2 Magnetické pole [14]

### Magnetická indukce a magnetický tok

Magnetická indukce je vektorová veličina značící se  $B$  s jednotkou Tesla [T], která charakterizuje magnetické pole. Tyto veličiny jsou spojeny vztahem (3.1), kde  $H$  je intenzita magnetického pole [ $A \cdot m^{-1}$ ],  $\mu$  je permeabilita [ $H \cdot m^{-1}$ ] a vypočte se ze vztahu (3.1). Kde  $\mu_r$  je poměrná permeabilita prostředí,  $\mu_0$  je permeabilita vakua. Permeabilita udává kolikrát je magnetická indukce  $B$  (hustota toku) magnetovaného materiálu větší, než je původní pole  $H$  ve vakuu (přibližně ve vzduchu).

$$B = \mu \cdot H \text{ [T]} \quad (3.1)$$

Magnetická indukce [Tesla] –  $B$  [T], Permeabilita prostředí [Henry na metr] –  $\mu$  [ $H \cdot m^{-1}$ ], Intenzita magnetického pole [Ampér na metr] –  $H$  [ $A \cdot m^{-1}$ ]

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 \text{ [H} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (3.2)$$

Permeabilita prostředí [Henry na metr] –  $\mu$  [ $H \cdot m^{-1}$ ], Poměrná (relativní) permeabilita [-] –  $\mu_r$  [-], Permeabilita vakua [Henry na metr] –  $\mu_0$  [ $H \cdot m^{-1}$ ]

Magnetický tok představuje celkovou sílu magnetického pole. Je dán součtem elementárních toků v celém průřezu  $S$ , kterým prochází magnetický tok. Magnetický tok  $\Phi$  s jednotkou Weber [Wb] je dán vztahem (3.3), kde  $B$  je magnetická indukce a  $S$  je průřez cívky.

$$\Phi = B \cdot S \text{ [Wb]} \quad (3.3)$$

Magnetický tok [Weber] –  $\Phi$  [Wb], Magnetická indukce [Tesla] –  $B$  [T], Plocha průřezu [metr čtvereční] –  $S$  [m<sup>2</sup>]

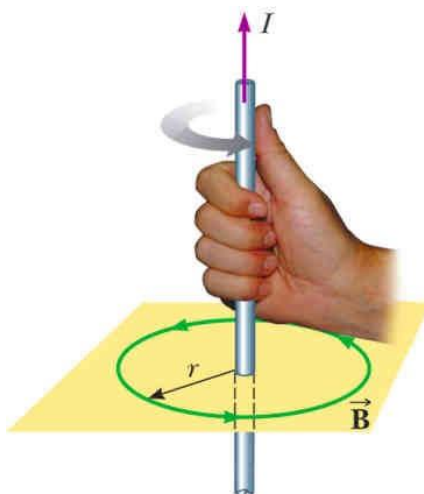
### Intenzita magnetického pole

Intenzita magnetického pole  $H$  roste kolem přímého vodiče tím více, čím je větší intenzita proudu  $I$  a čím je menší vzdálenost  $r$  od středu vodiče. Platí vztah (3.4)

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \left[ \frac{\text{A}}{\text{m}} \right] \quad (3.4)$$

Intenzita magnetického pole [Ampér na metr] –  $H$  [A·m<sup>-1</sup>], Elektrický proud [Ampér] –  $I$  [A], Vzdálenost indukční čáry od středu vodiče [metr] –  $r$  [m].

Ampérovo pravidlo pravé ruky je používáno pro zjištění orientace vzniklého magnetického pole (směr magnetických indukčních čar), (Obr. 3). [1], [2]

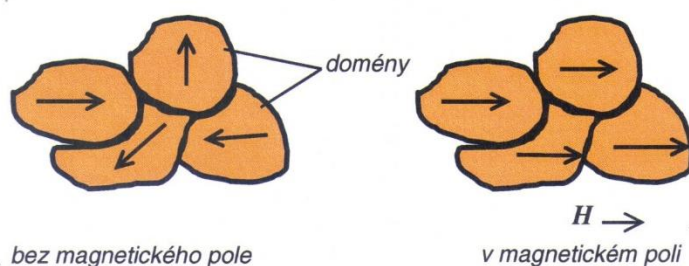


Obr. 3 Pravidlo pravé ruky [24]

## Magnetické vlastnosti látek

Podle magnetických vlastností se dělí magnetické látky do 3 skupin:

- Diamagnetické látky – Tyto látky mírně zeslabují magnetické pole. Skládají se z diamagnetických atomů a mají relativní permeabilitu menší než 1 ( $\mu_r < 1$ ). Patří sem např. rtuť, zlato, stříbro.
- Paramagnetické látky – Tyto látky mírně zesilují magnetické pole. Skládají se z paramagnetických atomů a mají relativní permeabilitu větší než 1 ( $\mu_r > 1$ ). Tyto látky nelze trvale zmagnetizovat. Patří sem např. hliník, platina.
- Feromagnetické látky – Tyto látky výrazně zesilují magnetické pole. Skládají se také z paramagnetických atomů, ale v jiném uspořádání a mají relativní permeabilitu mnohem větší než 1 ( $\mu_r > 1$ ). Vznik výsledného magnetického pole není výsledkem momentu atomu nebo molekuly, ale tzv. domén. To jsou oblasti, které mají jednotný směr vektoru magnetizace (Obr.4). Magnetické pole v látce zůstane, i když vnější magnetické pole zanikne. Patří sem např. železo, kobalt, nikl a jejich slitiny. [1], [2], [15], [16]



Obr. 4 Orientace magnetických domén [16]

### 3.1.2 Příprava povrchu zkoušené součásti

Povrchy součástí musí být před samotnou zkouškou odmaštěny a zbaveny jakýkoliv nečistot a cizích látek, aby nedošlo k ovlivnění citlivosti samotné zkoušky. [6]

Mezi defektem materiálu a samotným povrchem materiálu musí být dostatečný vizuální kontrast. Pokud se nejedná o fluorescenční metodu zkoušení a kontrastu

není dosaženo je zapotřebí nanést na zkoušený povrch rovnoměrnou tenkou vrstvou pomocného kontrastního nátěru. Tímto bude dosaženo požadovaného kontrastu. [6]

### 3.1.3 Magnetizace a magnetizační techniky

Pro zjištění indikace je potřeba vytvořit rozptylové magnetické pole zkoušeného předmětu. Toho se dosáhne zmagnetizováním předmětu. Magnetizace je prováděna kolmo na indikaci. Z tohoto důvodu se používají různé způsoby magnetování: cirkulární (příčná) magnetizace a pólová (podélná) magnetizace nebo jejich kombinace. Tímto je minimalizováno neodhalení případných vad. Kdyby byla magnetizace provedena rovnoběžně s vadou, tak k detekci vady nedojede, protože vada magnetické pole nenaruší. [1], [2], [7]

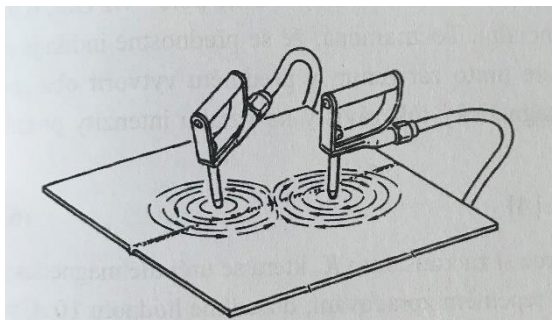
Způsoby magnetizace se volí podle:

- geometrie a velikosti zkoušených dílů,
- druhu a velikosti předpokládané vady,
- druhu materiálu,
- požadavku zákazníka.

#### Přímá cirkulární magnetizace průchodem proudu

Hrotové elektrody se pevně přiloží na zkoušený předmět. Magnetizační proud je přiváděn elektrodami. Elektrický obvod je uzavřen přes zkoušený předmět, a tím vzniká potřebné cirkulární magnetické pole (Obr.5).

Touto metodou se zkouší především svary a odlitky. [1], [2]

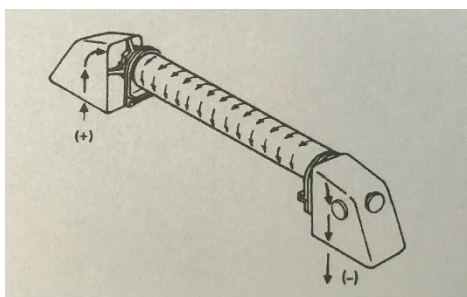


Obr. 5 Přímá cirkulární magnetizace průchodem proudu [2]

### Průchod v pólových nástavcích

Zkoušená součást se upne mezi dva kontakty. Magnetizační proud prochází přímo součástí. Součást je přímý vodič a vytváří vlastní cirkulární magnetické pole (Obr. 6).

Tato metoda se používá většinou pro podélné duté nebo plné materiály, např. trubky tyče. U dutých součástí jen tehdy, když se zkouší vnější povrchy. [1], [2]

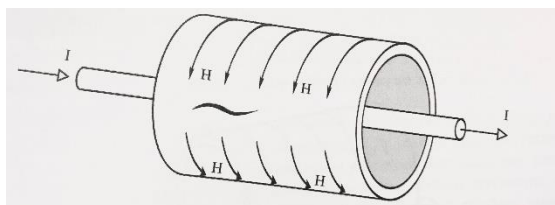


Obr. 6 Průtok proudu v upínacím zařízení [2]

### Průchod proudu pomocným vodičem

Pomocným vodičem prochází proud ( $I$ ), který kolem sebe vytváří magnetické pole ( $H$ ). Tato metoda má větší citlivost na vnitřním povrchu součásti díky menší vzdálenosti od vodiče (Obr.7). Zkoušenou součástí neprochází proud, který prochází vodičem. To má výhodu v tom, že se zkoušený předmět nezahřívá a nevznikají opaly.

Tato metoda se využívá u prstencových a trubkových součástí nebo u součástí s otvorem. [1], [2]

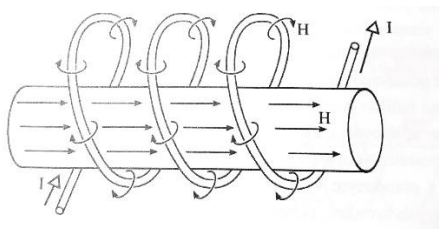


Obr. 7 Trubka s pomocným vodičem [2]



### Pólová magnetizace cívkou

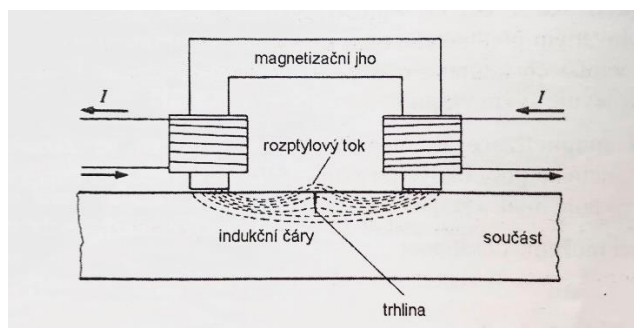
Zkoušená součást se zasouvá do cívky, kterou protéká proud ( $I$ ). Siločáry uvnitř cívky vytvářejí podélné magnetické pole ( $H$ ) (Obr. 8). Tímto způsobem se zjišťují příčné vady. Je-li zkoušený předmět výrazně delší, než je šířka cívky, musí se zmagnetizovat po částech. [1], [2]



Obr. 8 Pólová magnetizace cívkou [2]

### Pólová magnetizace pomocí magnetizačního jha

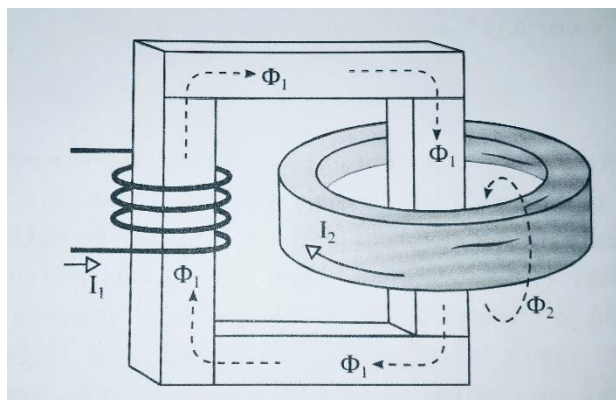
Magnetický tok je tvořen cívkami navinutými na jádru elektromagnetu. Zkoušená součást se stává součástí obvodu, když je na ni přiloženo jho (přenosný elektromagnet), (Obr. 9). Magnetické pole prochází součástí podélně (od pólu k pólu). Tato metoda magnetizace se používá při zjišťování příčných vad u velkých součástí nebo při zkoušení svarů. [1], [2]



Obr. 9 Magnetizace jhem [1]

## Cirkulární magnetizace indukcí proudu

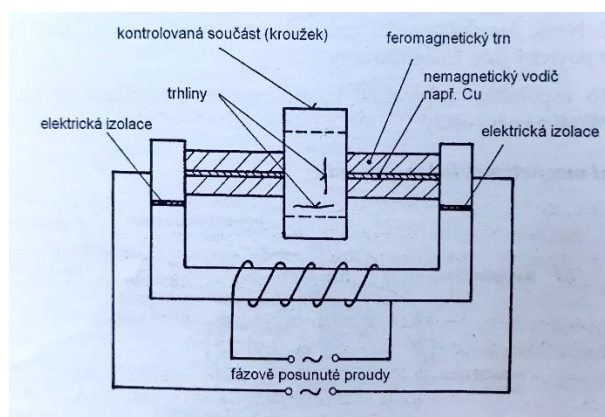
Tato metoda funguje na principu transformátoru na krátko. Zkoušená součást je sekundárním vinutím transformátoru. Indukovaný proud v součásti vytváří cirkulární magnetizaci, a ta odhalí obvodové vady (Obr. 10). Tato metoda se používá pro zkoušení dutých součástí např. krátké trubky, kroužky, prstence aj. [1], [2]



Obr. 10 Magnetizace indukcí proudu [2]

## Kombinovaná magnetizace

Touto metodou magnetizace lze zjistit vady ve všech směrech jednou operací. Metoda spočívá v tom, že přístroj zvládne současně vytvořit podélnou i cirkulární magnetizaci. Podélná magnetizace je vyvolána stejnosměrným proudem a příčná proudem střídavým. Magnetická pole musí být na sebe vzájemně kolmá a vzájemně se v čase měnit (Obr. 11). Tato metoda je velice ekonomická, na jedno upnutí se zkontrolují veškeré indikace. [1], [2]



Obr. 11 Kombinovaná magnetizace [1]

### **3.1.4 Druhy magnetizačního proudu**

#### **Stejnoseměrný proud (DC)**

Stejnoseměrný proud se používá většinou u ručních elektromagnetů a získává se z akumulátorů. Proud prochází celým průřezem součásti, díky tomu lze nalézt i podpovrchové vady do hloubky cca 10 mm. Naopak nevýhodou je obtížné odmagnetizování součásti. [1], [2], [7], [8]

#### **Střídavý proud (AC)**

Střídavý proud o frekvenci 50 Hz se používá skoro u všech magnetizačních přístrojů. Proud, a tím i magnetický tok, prostupuje jen do malé hloubky pod povrch zkoušené součásti. Výhodou střídavého proudu je dobrá zjistitelnost povrchových vad a poměrně jednoduché odmagnetizování. Naopak nevýhodou je nezjistitelnost podpovrchových vad a zahřívání zkoušené součásti. [1], [2], [7], [8]

#### **Jednocestně usměrněný střídavý proud (HV)**

Používá se u ručních elektromagnetů, přenosných a mobilních přístrojů.

Proud a tím i magnetický tok proniká cca do 30 % průřezu zkoušené součásti. Výhodou je detekce i podpovrchových vad, nevýhodou je obtížná demagnetizace. [1], [2]

#### **Střídavý proud dvoucestně usměrněný (FWDC)**

Používá se u stacionárních i automatizovaných přístrojů. Proud, a tím i magnetický tok, proniká cca do 60 % průřezu zkoušené součásti. Výhodou je detekce i podpovrchových vad, nevýhodou je obtížná demagnetizace. [1], [2]

#### **Třífázový usměrněný střídavý proud (FWDC)**

Používá se u výkonných stacionárních i automatizovaných přístrojů. Proud, a tím i magnetický tok, proniká cca do 95 % průřezu zkoušené součásti. Výhodou je detekce i podpovrchových vad, nevýhodou je obtížná demagnetizace. [1], [2]

### 3.1.5 Demagnetizace

Zkoušená součást se musí zbavit zbytkového magnetismu. Nejprve se provede demagnetizace před samotnou zkouškou z důvodu ulpívajících kovových pilin, které by mohly ovlivnit účinnost zkoušky. Po zkoušce je také vhodné součásti odmagnetizovat, aby zbytkový magnetismus nebránil ve správné funkci součásti. Zbytkový magnetismus se odstraňuje např. pomocí demagnetizačního tunelu. [2], [4], [6], [7]

### 3.1.6 Zkušební prostředky

Zkušebním prostředkem při magnetické práškové metodě je feromagnetický prášek. Při suché metodě je prášek buď tlakovým plynem, nebo vzduchem nanesen na povrch zkoušené součásti. Při mokré metodě je prášek rozmíchan do suspenze vodné nebo olejové a zkoušená součást je touto suspenzí polévána.

Magnetické prášky lze rozdělit na:

- Prášky barevné – Tyto prášky jsou černé, žluté, šedočerné, hnědočervené. Jejich volba závisí na podkladu, na který budou nanášeny, aby vznikl co největší barevný kontrast (barva indikace / barva zkušební plochy = barevný kontrast), (Obr. 12). [2], [3]



Obr. 12 Zkouška barevnou metodou [9]

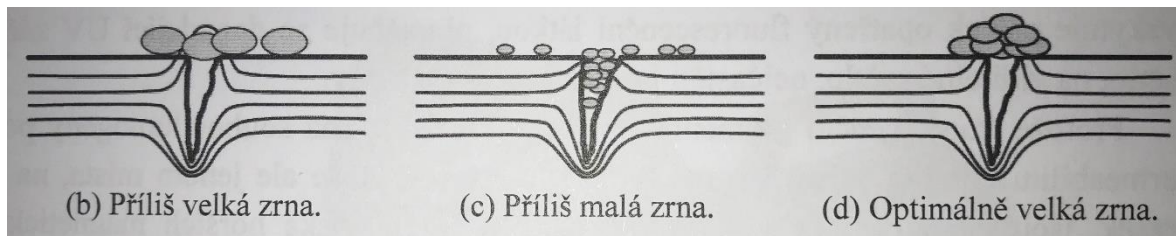
- Prášky fluorescenční – Jsou to feromagnetická zrna obalena fluorescenční látkou. Pod ultrafialovým zářením se objeví indikace (Obr. 13).



Obr. 13 Zkouška fluorescenční metodou

Všechny magnetické prášky by měly mít tyto vlastnosti:

- vhodnou velikost a tvar zrna (Obr. 14),
- dobré magnetické vlastnosti,
- dobré kontrastní vlastnosti,
- zdravotní nezávadnost.



Obr. 14 Velikost zrn [2]

### 3.1.7 Kontrola zkušebního prostředí

Jakost suspenze spočívá v koncentraci magnetického prášku v suspenzi. To se ověřuje sedimentačním testem v ASTM sedimentační baňce (Obr. 15). Test spočívá v tom, že se do baňky nalije 100 ml dokonale rozmíchaná suspenze, která se nechá v klidu po minimální dobu 30 minut. [2]

Poté se kontroluje objem usazeného prášku v sedimentační trubici. Pro fluorescenční prášky to je 0,1 ml až 0,4 ml. Dále se posuzuje také průběh samotné sedimentace. Pokud jsou nad samotným magnetickým práškem prachové nečistoty nebo oloupané pigmentové částice, je třeba posoudit závažnost znečištění přípustným objemovým podílem. Je-li usazenina nekompaktní, ale vytvářejí se shluky prášku, je také nutno uvažovat o výměně. [1], [2]

Tento test by měl probíhat každý den před samotnou zkouškou, aby byla magnetická zkouška věrohodná.

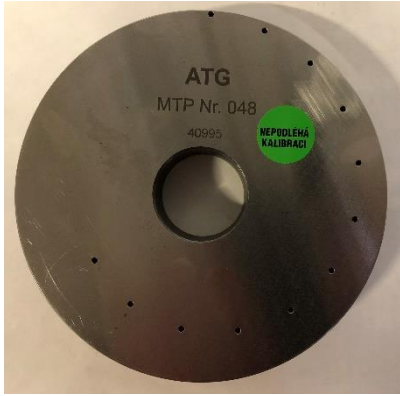


Obr. 15 Sedimentační baňka

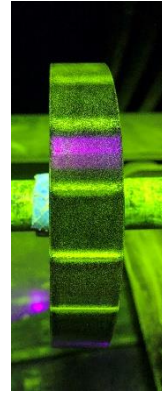
### 3.1.8 Zkouška účinnosti magnetické práškové metody

Pro ověřování účinnosti se používají různé druhy měrek.

Pro cirkulární magnetizaci je to kruhová testovací měrka neboli KETOS-ring (Obr.16). Jedná se o kruhovou desku, která má uprostřed otvor, kterým je veden vnitřní vodič. Do měrky jsou od vnějšího obvodu do středu vyvrtány díry, které simulují defekty. Počet indikací po zmagnetizování a polížení detekční kapalinou ukazuje citlivost metody (Obr. 17). [2], [12]



Obr. 16 Ketos ring

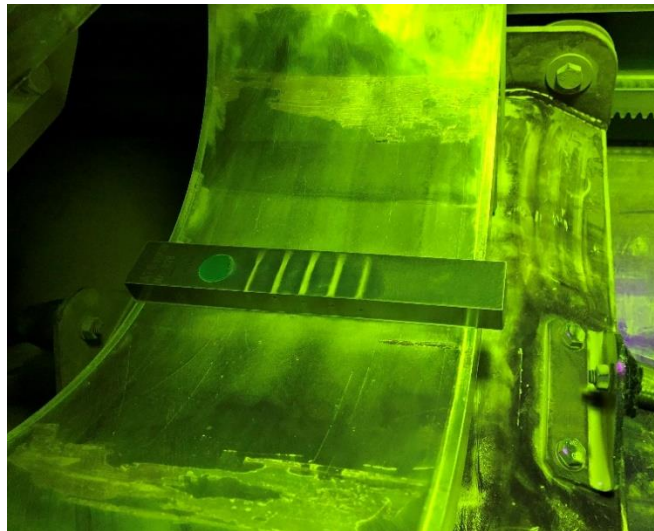


Obr. 17 Ketos ring při zkoušce

Pro podélnou magnetizaci se používá měrka zvaná KETOS-bar (Obr. 18), která funguje na podobném principu jako předchozí měrka. Po zmagnetování a polížení detekční kapalinou se objeví vady a jejich počet určí citlivost metody (Obr. 19).



Obr. 18 Ketos bar



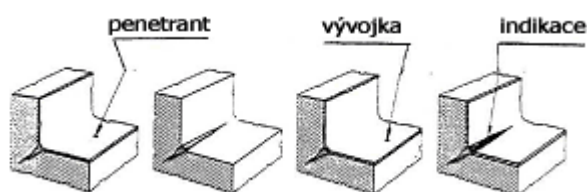
Obr. 19 Ketos bar při zkoušce

## 3.2 Fluorescenční kapilární metoda

Fluorescenční kapilární metoda se používá pro zjišťování necelistvostí otevřených na povrchu zkoušené součásti, jako jsou trhliny, praskliny, přeložky, zavaleniny, póry, vměstky apod., u neporézních kovových materiálů (feromagnetických i neferomagnetických) a také u nekovových materiálů, jako jsou např. plastické hmoty, glazovaná keramika, sklo aj. [1], [3], [29]

Kapilární metoda spočívá ve využití vzlínivosti a smáčivosti.

Na vyčištěný a vysušený zkoušený předmět se nanese vhodná kapalina (penetrant) a nechá se vniknout do necelistvostí. Po předem stanované době se přebytečný penetrant opláchne a na zkoušený předmět se nanese vývojka. Vývojka působí jako absorbent a penetrant vzlíná na povrch v místě vady. U fluorescenční metody vytváří vývojka fluoreskující indikaci pod UV-A zářením a kontroluje se vizuálně. Po vyhodnocení zkoušky se zkoušený předmět očistí od penetrantu a vývojky. [1], [3], [10], [28]



Obr. 20 Princip kapilární metody [10]

### 3.2.1 Fyzikální pojmy kapilární metody

Tato kapitola se zabývá fyzikálními vlastnostmi kapalin, které jsou využívány při fluorescenční kapilární metodě.

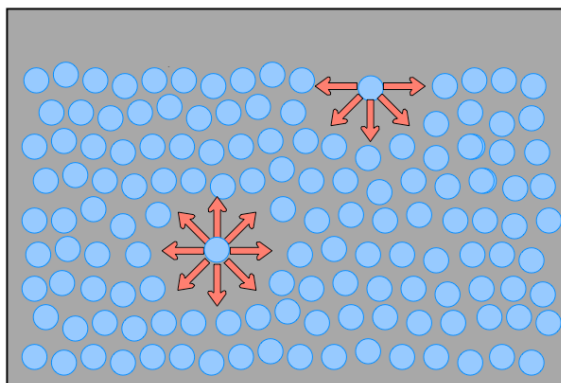
#### Povrchové napětí

Kapaliny se chovají, jako kdyby byl jejich povrch pokryt tenkou pružnou vrstvou a snaží se dosáhnout co nejmenšího objemu. [4]

Na molekuly uvnitř kapalin působí přitažlivé síly ostatních molekul. Tyto síly působí ve všech směrech stejně, z toho vyplývá, že výslednice sil uvnitř kapaliny je rovna nule. Jinak je tomu na povrchu kapaliny. Na molekuly kapaliny tyto síly nepůsobí a nejsou kompenzovány, a proto jsou vtahovány dovnitř kapaliny. Kdyby na kapalinu nepůsobily vnější síly, tak by zaujala tvar koule, protože koule má ze všech těles za stejného objemu nejmenší povrch. [1],[4]



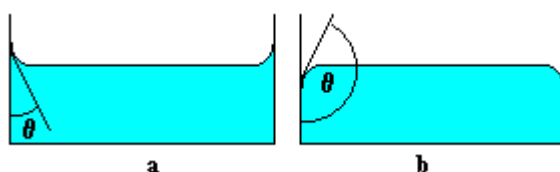
Síly, které brání zvětšování povrchu, se nazývají povrchové napětí. To je definováno jako síla působící kolmo k jednotce délky v povrchu kapaliny. [1]



Obr. 21 Působení povrchového napětí [17]

### Krajový úhel, smáčivost

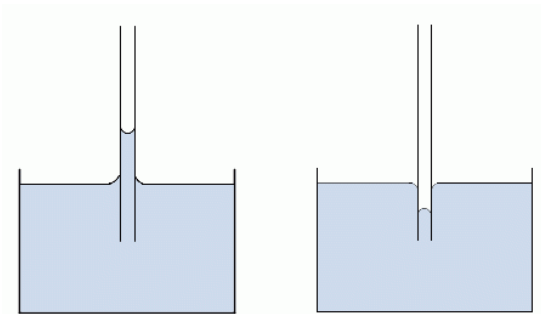
Pozoruje-li se stykové místo povrchu kapaliny se stěnou nádoby, je zjištěno u různých kapalin a různých materiálů odlišně velké zdvižení nebo snížení okraje kapaliny. Úhel, který svírá povrch kapaliny se stěnou pevného tělesa, lze měřit a nazývá se krajový úhel (kontaktní úhel). Jeho velikost závisí na rozdílu povrchového napětí stěny tělesa vzhledem ke vzduchu a kapalině. Tento rozdíl se nazývá adhezivní konstanta. Je-li adhezivní konstanta kladná, krajový úhel je ostrý a kapalina stěnu smáčí (okraj u stěny se zvedne), (Obr. 22a). Pokud je adhezivní konstanta záporná, krajový úhel je tupý a kapalina stěnu nesmáčí (Obr. 22b). Krajový úhel penetrantů je vždy malý 5 až 10°. [1], [3], [18]



Obr. 22 Smáčivost (a) a nesmáčivost (b) [18]

### Kapilární elevace a deprese

V kapiláře (tenké trubici) z části zasunuté do kapaliny v nádobě, kapalina buď vystoupí nad úroveň hladiny kapaliny a vytvoří ve styku s kapilárou dutý povrch. To se nazývá kapilární elevace (Obr. 23 vlevo). Druhá varianta je, že kapalina klesne pod povrch hladiny kapaliny a vytvoří vypouklý povrch. To se nazývá kapilární deprese (Obr. 23 vpravo). [1], [19]



Obr. 23 Kapilární elevace a deprese [19]

Kapaliny s nízkým povrchovým napětím v kapiláře stoupají. Naopak kapaliny s vysokým povrchovým napětím v kapiláře klesají pod hladinu kapaliny. [19]

Kapilární elevace je velmi důležitý jev z hlediska principu kapilárních metod, protože hledané vady se chovají jako kapiláry. Čím je šířka vady menší, tím je větší zakřivení vnitřní hladiny kapaliny (v tomto případě penetrantu) ve vadě, a tím se zvětší i tlak. Tento tlak se nazývá kapilární. [1]

### Viskozita

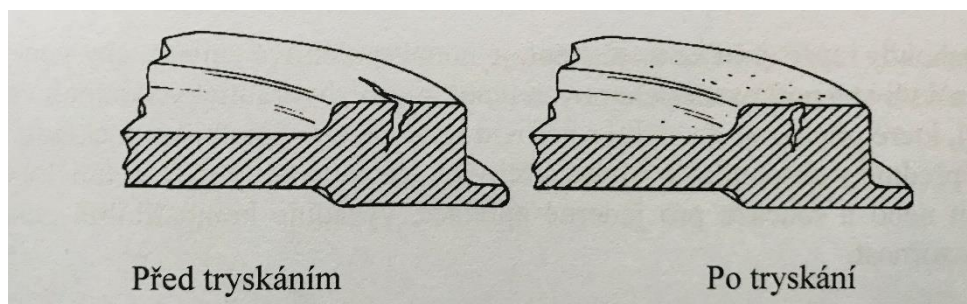
Viskozita vyjadřuje odpor kapaliny k tečení. Viskozita má velký vliv na rychlost vniknutí kapaliny (penetrantu) do vady. Penetrant s vysokou viskozitou vniká do vady pomalu, naopak penetrant s nízkou viskozitou vytváří na povrchu předmětu příliš malou vrstvu. [1], [3]

Viskozita kapaliny závisí na teplotě. Čím je teplota nižší, tím je viskozita vyšší, a to by znamenalo vyšší časové nároky na vniknutí penetrantu do vady, což by bylo dost neekonomické. Proto se kapilární zkoušky provádí jen v povoleném rozsahu teplot. [3]

### 3.2.2 Příprava povrchu před zkouškou

Zkoušený povrch musí být před zkouškou pečlivě očištěn, a to mechanicky, chemicky nebo kombinací těchto metod. To vše je za účelem, aby nečistoty nebránily vstupu penetrantu do vady. [1], [3], [25]

Mechanické způsoby čištění jsou kartáčování, broušení, třískovým obráběním, tryskáním, proudem vody, či proudem páry. Mechanické čištění odstraňuje okuje, strusku nebo korozi, ale to většinou jen na povrchu, a ne v případných necelistvostech. U této metody čištění se musí dávat pozor, aby nedošlo k zaplnění necelistvostí, což je nežádoucí. [3], [11], [25], [28]



Obr. 24 Uzavření vady trykáním [3]

Chemické čištění slouží k odstranění olejů, maziv, nátěrů či mořidel. Nejčastější metody tohoto čištění jsou čištění saponáty, rozpouštědly, odmašťování v parách, alkalické čištění, ultrazvukové čištění, moření v kyselině nebo leptání. [1], [3]

Zbytky čistících prostředků mohou reagovat s penetrantem a snižovat jeho citlivost, proto je nutné po čistícím procesu tato chemická činidla odstranit, např. oplachem vody. [11]

Posledním krokem přípravy povrchu je sušení. Sušení slouží k tomu, aby čistící prostředky nebo voda nezůstaly v případných indikacích a nezabraňovaly vniku penetrantu. [1], [3], [11]

### 3.2.3 Nanesení penetrantu

U fluorescenční metody se používá fluorescenční penetrant, který obsahuje luminogeny. Tato látka mění ultrafialové záření na viditelné žlutozelené světlo. Tato metoda využívá kontrastu žlutozeleného světla v indikaci a tmavého, modrofialového pozadí. [3], [28]

Fluorescenční penetranty se dělí na:

- vodou smývatelné (emulgační),
- postemulgační – lipofilní,
- odstranitelné rozpouštědlem,
- postemulgační – hydrofilní.

Zkoušený materiál musí být pokryt dostatečně dlouhou dobu penetrantem, aby došlo k proniknutí do nečistot. Doba, kterou je materiál ve styku s penetrantem, se nazývá penetrační čas. [3], [29]

Penetrant se nanáší těmito způsoby:

- Ponorem – Používá se pro větší množství malých rozměrově komplikovaných součástí. Po ponoření do lázně penetrantu a následném vyjmutí z lázně je nutné součásti nechat okapat od přebytečného penetrantu. Součástí penetračního času je ponor i okapávání.
- Nástřikem – Používá se pro rozměrné výrobky nebo na stavbách a při montážích. Penetrant se nanáší vzduchovou pistolí nebo formou spreje.
- Štětcem – To se používá na špatně přístupných místech např. vnitřní plochy. Při této metodě se musí dbát na dobré očištění štětce, aby na něm nezasychal penetrant,
- Politím – Používá se u rozměrných výrobků, často v kombinaci s nanášením štětcem. [1], [3], [4],

### **3.2.4 Odstranění přebytečného penetrantu**

Tato činnost má za úkol odstranit přebytečný penetrant ze zkoušeného materiálu, aby nevytvářel fluorescenční pozadí a neovlivňoval rozeznatelnost vad. Zároveň penetrant nesmí být odstraněn z necelistvosti. [1], [3], [25]

Přebytek penetrantu se odstraňuje:

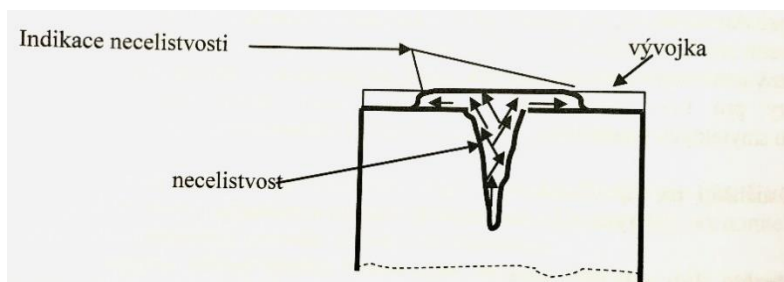
- Pomocí vody – Penetrant se odstraní oplachem vodou, tak aby nedošlo k vymytí penetrantu z necelistvostí. Pro tyto účely se používá demineralizovaná voda. Používá se pro tvarově komplikované součásti a pro hromadné zkoušení. [1], [3], [11]
- Pomocí rozpouštědel – Penetrant se smyje vhodným rozpouštědlem. Tento způsob se používá jen u zkoušení, kde není potřeba velká citlivost, protože se penetrant často vymyje z necelistvosti. [1], [11]
- Postemulgační způsob – Na součást se nanese emulgátor, který musí působit 1,5 až 3 minuty. Po této době se opláchne vodou pomocí jemné sprchy. Tento způsob se používá tam, kde je potřeba vysoká citlivost metody. [1], [11]

### **3.2.5 Osušení povrchu**

Zkoušené součásti se zbavují vlhkosti pro lepší nanášení vývojky. Samotné sušení se provádí pomocí sálavého tepla nebo sušáren s cirkulací teplého vzduchu. [1]

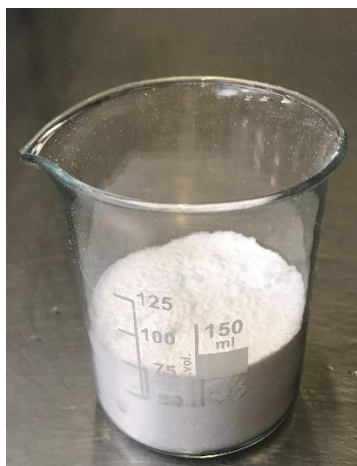
### 3.2.6 Nanesení vývojky

Po odstranění přebytečného penetrantu a usušení se snaží penetrant v místě vady vadu opustit a vystoupit na povrch. Pro lepší indikaci vady se nanáší vývojka, která se snaží nasát penetrant (Obr. 25). Vývojka musí být nanesena rovnoměrně. Pokud je vývojka nanesena v přiměřené vrstvě, z vady vystoupí a pod UV-A světlem je nečelistvost zřetelně vidět. Je-li vývojky naneseno velké množství, penetrant nemusí dostatečně vystoupit a vada nemusí být zřetelně vidět. [3]



Obr. 25 Indikace vady [3]

Základem všech kapilárních vývojek je prášek bílé barvy (Obr. 26), jemného zrnění, který nesmí být hygroskopický. Druhou složkou je nosné prostředí, kterým je např. vzduch, voda, aceton. [1]



Obr. 26 Vývojka

#### Suché vývojky

Suché vývojky se nanášejí pouze na suché povrchy. Suchá vývojka se používá především u fluorescenčních metod. Její nevýhodou je, že se vývojka dost dobře nikdy nerozptýlí po celém povrchu ve stejné vrstvě. Suché vývojky mají výhodu v tom, že svoji sací schopnost mají ihned po nanesení. [3]

Nanášejí se těmito metodami:

- naprašování,
- nanesení pomocí štětce,
- elektrostaticky,
- ponoření do vývojky (naprašovací, vířivá komora).

### **Mokrý vodný vývojky**

Prášek je smíchán s vodou, vzniká tak vodný roztok nebo vodní suspenze. Vodní suspenze se před každým použitím musí promíchat, protože dochází k usazování. To nehrozí u vodného roztoku, ten se musí promíchat jen při přípravě nového roztoku, kdy se prášek dokonale rozpustí. Mokrý vodný vývojky se nanášejí poléváním, ponorem nebo nástřikem.

Po aplikaci vývojky se musí přebytečná vývojka nechat odkapat, aby nezakrývala vady nebo netvořila falešné indikace. Mokrý vodný vývojky získávají svoji savost až po odpaření vodní složky. Vodný vývojkový suspenze se používají především při hromadném zkoušení. [1], [3]

### **Bezvodný mokrý vývojky**

Vývojka je suspenze bílého prášku a rozpouštědla, která se musí před každým použitím protřepat. Tato vývojka má největší citlivost a nanášejí se nástřikem. Pro fluorescenční metodu se nanášejí vrstva tenká, pro barevnou metodu vrstva o větší tloušťce. [3]

### **3.2.7 Zkouška účinnosti fluorescenční kapilární metody**

Pro zjištění účinnosti lze použít více metod. Metody s využitím kapilárních měrek nebo metody bez měrek. [1]

Kapilární měrky se rozdělují na:

- měrky s umělou necelistvostí,
- měrky s přirozenou necelistvostí.

#### **Měrky s umělou necelistvostí**

V měrkách jsou umělé necelistvosti o přesně definovaných rozměrech, které zaručují dobrou reprodukovatelnost zkoušky. Nevýhodou je, že umělá vada se od opravdové vady liší a výsledek lze na opravdové vady vztahovat jen přibližně. [1]

Mezi měrky s umělou necelistvostí patří:

- americká zkušební měrka,
- měrka IIW,
- měrka VÖEST,
- kuželová měrka.

### **Měrky s přirozenou necelistvostí**

V měrkách jsou přirozené necelistvosti, u kterých nejsou přesně definovány rozměry, ale simulují velmi dobře opravdové vady. Jejich nevýhodou je životnost, jelikož se necelistvosti zaplní detekčními prostředky. V průměru vydrží 30 až 50 zkoušek. To neplatí pro měrku PSM-5, kterou při správném čištění a skladování je možno používat dlouhodobě. [1], [3]

Mezi měrky s přirozenou necelistvostí patří:

- hliníková měrka,
- ohybová měrka,
- chromová měrka,
- PSM-5 měrka.

### **Metoda bez měrek**

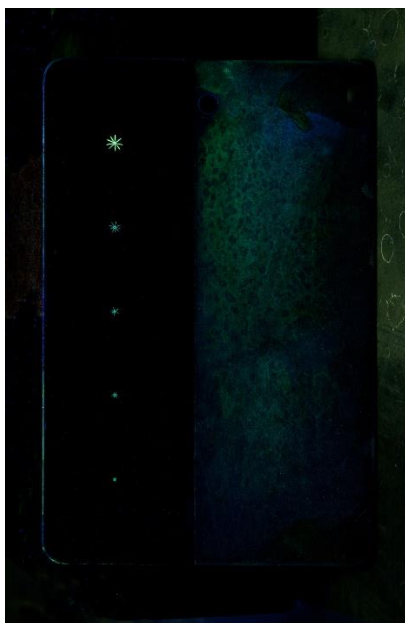
Jedná se o srovnávací postup, kdy se srovnává jakost známých prostředků vůči jakosti zkoumaných prostředků. Většinou se srovnává jen jedna vlastnost, např. fluorescence, smáčivost atd., a na základě tohoto se určuje celková jakost. [1]

Mezi metody bez měrek patří:

- menisková zkouška,
- křivky roztékavosti.

### **Zkouška účinnosti fluorescenčního kapilárního systému**

V praxi se převážně používá měrka PSM-5 (Obr. 27). Jedná se o obdélníkovou desku, na které je pět vtisků uspořádáno rovnoměrně podle velikosti. Počet indikací po provedení zkoušky ukazuje citlivost metody.



Obr. 27 PSM-5 měrka

### 3.3 Vyhodnocení nálezů

Vyhodnocení nálezů (indikace) u magnetické práškové metody a u fluorescenční kapilární metody je stejné.

Samotné vyhodnocení se rozděluje na:

- inspekci,
- interpretaci,
- klasifikaci,
- vyhodnocení.

Inspekce znamená hledání vad na zkoušené součásti. Inspekce určuje, je-li na součásti vada či nikoli.

Po prvotní inspekci je na povrchu zkoušeného předmětu mnoho vizuálně odlišných indikací. Ne každá indikace je důležitá pro posuzování kvality zkoušeného předmětu. Vyhodnotí se, které indikace jsou pro další zkoušení závažné a které ne. Cílem je nalézt necelistvosti, které by mohly ovlivnit funkční plochy předmětu.

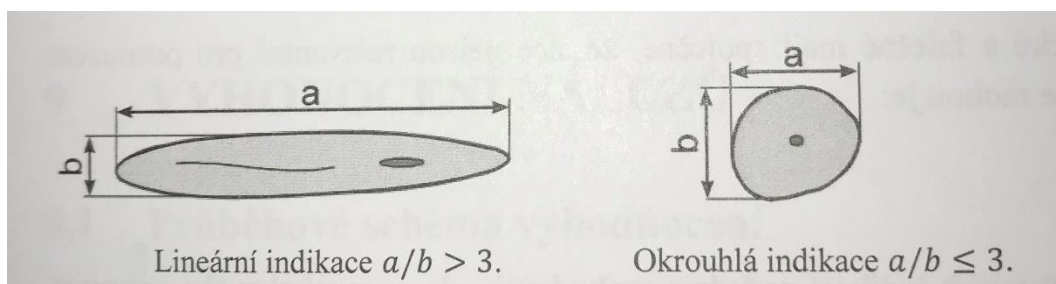
Falešné indikace je třeba vztahovat na chyby metodické (např. špatné očištění předmětu) nebo na nedostačující kvalitu zkušebního prostředku. Tyto indikace sice nejsou závažné, ale mohou závažnou vadu překrývat. Při výskytu těchto vad je



důležité rozhodnout, je-li potřeba zkoušku za daných podmínek opakovat. To závisí na zkušenostech a znalostech pracovníka, který zkoušku vykonává. Pokud není jednoznačně vysvětlen vznik sporných indikací, nemůže být zkoušený předmět uvolněn.

Nález se klasifikuje na základě polohy indikace (izolovaná, řádková, shluková, násobná uspořádaná/neuspořádaná), velikosti indikace a tvaru indikace (lineární, okrouhlá indikace).

Kruhové necelistvosti jsou hodnoceny méně kriticky než vady podélné (lineární), protože jsou pro pevnost materiálu méně kritické. Pro jednoznačné rozlišení těchto necelistvostí je zavedeno měřitelné kritérium, kterým je poměr délky k šířce indikace. Je-li poměr menší nebo roven 3:1, jedná se o indikaci okrouhlou, pokud je poměr větší než 3:1, je to indikace lineární (Obr. 28). [2], [3]



Obr. 28 Lineární a okrouhlá indikace [2]

Konečným krokem vyhodnocením je posouzení nálezu.

Existují tři úrovně hodnocení:

- Nominální – Rozhodující proces funguje na jednoduchém ano/ne. Rozhoduje se, zda tam vada je nebo není.
- Ordinální – Indikace se rozřadí podle tvaru a rozměru. Indikace se porovnávají se vzorovými nákresey nebo srovnávacími fotografiemi, a tím se určí stupeň kvality výrobku nebo závažnost nálezu.
- Metrická – Indikace jsou změřeny a je určena jejich poloha na součásti. Velikost indikace se porovná s příslušnými normami a podle toho se vyhodnotí. [2], [3]

### 3.4 Porovnání metod

Při porovnání magnetické práškové metody s kapilární fluorescenční metodou je zřejmé, že každá metoda má své výhody i nevýhody. Obě metody musí provádět a vyhodnocovat certifikovaný pracovník. V této oblasti jsou si rovny, ale to je jedna z mála shod.

Magnetická metoda je oproti kapilární metodě složitější. V tomto má výhodu metoda kapilární, která je značně jednodušší na provedení, ale je zase více časově náročná.

Hlavní výhodou magnetické práškové metody je odhalení povrchových i podpovrchových necelistvostí. Kapilární metoda dokáže odhalit jen povrchové necelistvosti. Celkově tím magnetická metoda dokáže zjistit více necelistvostí. Na obrázcích (Obr. 29) a (Obr. 30) je stejná součást. Při zkoušení magnetickou metodou je zřetelně vidět celá lineární indikace, a to u kapilární metody viditelné není. U kapilární metody je vidět pouze nepatrná část povrchové indikace.

Naopak hlavní devízou kapilární zkoušky je, že se mohou provádět zkoušky i na neferomagnetických materiálech. To magnetická zkouška neumožňuje.



Obr. 29 Lineární indikace - Magnetická metoda

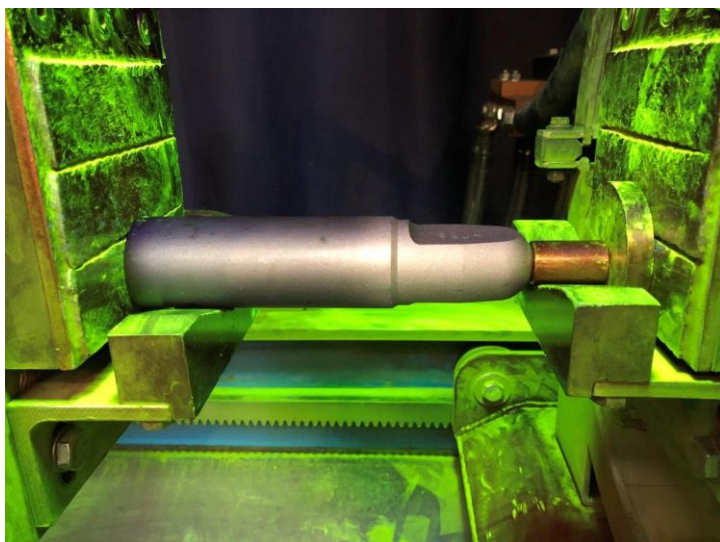


Obr. 30 Lineární indikace - Kapilární zkouška

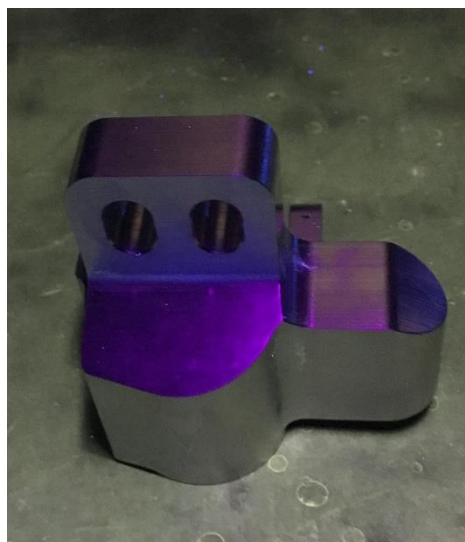
## 4 Praktické ukázky

Praktické ukázky defektoskopie metodami magnetickou práškovou a fluorescenční kapilární byly provedeny ve firmě JIHLAVAN a.s. Jihlava, která se zabývá výrobou leteckých hydraulických přístrojů a dílů.

Praktická ukázka byla provedena při magnetické práškové metodě na pístnicích (Obr. 31) a při fluorescenční kapilární metodě na hrdlech (Obr. 32).



Obr. 31 Pístnice



Obr. 32 Hrdlo

### 4.1 Magnetická prášková metoda – zkušební postup

#### 4.1.1 Chemické čišťení

Čištění součástí v perchlorethylenové lázni.

Neprovádí se na pracovišti MDT – MT, ale jako samostatná výrobní operace.

#### 4.1.2 Magnetická zkouška

Zkouška byla provedena magnetickou práškovou metodou, fluorescenčním mokrým způsobem podle písemné návodky MT 017/13-A (Příloha č. 1) pro danou součást.

- 1) Kontrola zbytkového magnetismu před zkouškou se provádí Gaussmetrem (Obr. 33). Zbytkový magnetismus může vzniknout při strojním obrábění součásti. Součást nesmí mít zbytkový magnetismus větší než 3 G (Gauss). Tento zbytkový magnetismus může mít negativní vliv na provedení zkoušky. Pokud je naměřená hodnota větší je nutné demagnetizovat součásti v demagnetizačním tunelu (Obr. 34).



Obr. 33 Gaussmetr



Obr. 34 Demagnetizační tunel

- 2) Zvolení druhu magnetizačního proudu, v tomto případě třífázový usměrněný střídavý proud (FWDC), zvolení druhu magnetizace a nastavení hodnoty proudu pro danou součást na horizontálním magnetickém defektoskopu (Obr. 35).



Obr. 35 Horizontální magnetický defektoskop

- 3) Pro první magnetizaci byla použita přímá cirkulární metoda s magnetizačním proudem 450 A. Součást byla umístěna mezi pólové nástavce. Na první zkoušené součásti se zkontroluje intenzita magnetického pole Gaussmetrem, musí být v rozmezí 30 až 60 G.
- 4) Nanesení mokrých fluorescenčních magnetických částic. To se provádí kontaktní metodou, kdy jsou částice rozmíchané v nosné kapalině (suspenzi) a jsou nanášeny na zkoušenou součást poléváním bezprostředně předem, a to během působení magnetizačního proudu. Polévání musí být ukončeno

- před vypnutím magnetizačního proudu. Přitom magnetizační proud musí působit minimálně 0,5 sekundy.
- 5) Ihned poté se provádí kontrola součásti v zatemněném prostoru inspekční kabiny pod UV-A světlem. Před zahájením kontroly součástí si musí pracovníci adaptovat zrak na přitmě po dobu nejméně 1 minuty.
  - 6) Kontrola zbytkového magnetismu před podélnou magnetizací, která se provádí Gaussmetrem. Součást nesmí mít zbytkový magnetismus větší než 3 G, pokud je naměřená hodnota větší, je nutné součást demagnetizovat.
  - 7) Zvolení druhu magnetizace a nastavení hodnoty proudu pro danou součást.
  - 8) Pro druhou magnetizaci byla použita magnetizace podélná s magnetizačním proudem 1350 A. Součást byla umístěna mezi pólové nástavce. Na první zkoušené součásti se zkontroluje intenzita magnetického pole Gaussmetrem, musí být v rozmezí 30 až 60 G.
  - 9) Nanesení mokrých fluorescenčních magnetických částic. To se provádí kontaktní metodou, kdy jsou částice rozmíchané v nosné kapalině (suspenzi) a jsou nanášeny na zkoušenou součást poléváním bezprostředně předem, a to během působení magnetizačního proudu. Polévání musí být ukončeno před vypnutím magnetizačního proudu. Přitom magnetizační proud musí působit minimálně 0,5 sekundy.
  - 10) Ihned poté se provádí kontrola součásti v zatemněném prostoru inspekční kabiny pod UV-A světlem. Před zahájením kontroly součástí si musí pracovníci adaptovat zrak na přitmě po dobu nejméně 1 minuty.
  - 11) Po ukončení zkoušky se provádí odmagnetizování součásti. Po demagnetizaci nesmí být hodnota zbytkového magnetismu větší než 3 G.

Samotné vyhodnocení zkoušky se provádí podle předepsaných kritérií přípustnosti uvedených v písemné návodce.

Zkoušené součásti vyhovují předepsaným kritériím, a proto jsou vyhovující.

Provedení zkoušky se zapisuje do knihy kontroly NDT – MT a vypracuje se zkušební protokol viz (Obr. 36).

 Znojemská 5594/54 586 01 Jihlava Česká republika	<b>ZKUŠEBNÍ PROTOKOL</b> TEST REPORT	<b>Číslo:/No.:</b> <b>2020/72</b>
	<b>MAGNETICKÁ PRÁŠKOVÁ</b> <b>ZKOUŠKA</b> MAGNETIC PARTICLE INSPECTION	<b>Strana:/Page:</b> <b>1 z/of 1</b>
<b>Název dílu:/Part name:</b> <b>Pístnice</b>	<b>Číslo výkresu:/Drawing No.:</b> <b>0 346 004</b>	
<b>Zákazník:/Customer:</b> <b>JIHLAVAN, a.s.</b>	<b>Počet kusů:/Number of pieces:</b> <b>49</b>	
<b>Objednávka zákazníka č./Customer's order No.:</b> <b>721010002/40</b>	<b>Zakázka výrobce č./Manufacturer order No.:</b> <b>88242/10</b>	
<b>Identifikační číslo dílu:/Part identification No.:</b> <b>---</b>	<b>Operace č./Operation No.:</b> <b>45</b>	
<b>Zkušební předpis:/Test specification:</b> <b>Návodka:/Instruction:</b> <b>Rozsah zkoušky:/Scope of testing:</b> <b>Materiál:/Material:</b> <b>Tavba/Heat No.:</b> <b>Stav povrchu:/Condition of surface:</b>	<b>PNJ 4806-11; PNJ 4802-99</b> <b>MT 017/13 - A</b> <b>100 % povrchu</b> <b>GOST 30CHGSA</b> <b>42952</b> <b>obrobený</b>	
<b>Magnetizér:/Magnetizing Unit:</b> <b>Magnetizační proud:/Current Output:</b> <b>Způsob magnetizace:/Magnetization mode:</b> <b>Suspenze:/Suspension:</b> <b>Referenční standard:/Meets Requirements:</b> <b>Šarže:/Batch:</b>	<b>UNIMAG 1200 AC-DC</b> <b>třífázový FWDC</b> <b>cirkulární + podélná</b> <b>Carrier II + 14A Magnaglo</b> <b>AMS 2641; AMS 3044</b> <b>1901013, 1907437; 18E050</b>	
<b>Intenzita UV-A světla:/Black light intensity:</b> <b>1740 <math>\mu</math>W/cm<sup>2</sup></b>	<b>UV metr:/Gauge:</b> <b>XR-1000</b>	
<b>Intenzita bílého světla:/Visible light intensity:</b> <b>5 LX</b>	<b>Luxmetr:/Gauge:</b> <b>XR-1000</b>	
<b>Odchyly od zkušebního předpisu:/Deviation from Test specification:</b>	<b>---</b>	
<b>Výsledek zkoušky:/Test result:</b>  <p style="text-align: center;"><b>49 kusů vyhovuje</b></p>		
<b>Vyhodnocení podle zkušebního předpisu:/Evaluation acc. to test specification:</b>	<b>PNJ 4802-99, čl. 9.2, tř. C2</b>	
<b>vyhovuje:/passed:</b> <b>49 ks</b>	<b>nevyhovuje:/not passed:</b> <b>---</b>	
<b>Místo zkoušky:/Place of testing:</b> <b>Jihlava</b>	<b>Datum zkoušky:/Date of testing:</b> <b>21.9.2020</b>	
<b>Zkoušku provedl a vyhodnotil (jméno, stupeň):/Test performed and evaluated by (name, level):</b>  <b>Josef Novák - Level II</b>		

Obr. 36 Zkušební protokol Magnetická prášková metoda

## 4.2 Fluorescenční kapilární metoda – zkušební postup

### 4.2.1 Chemické čištění

Čištění součástí v perchlorethylenové lázni.

Neprovádí se na pracovišti NDT – PT, ale jako samostatná výrobní operace.

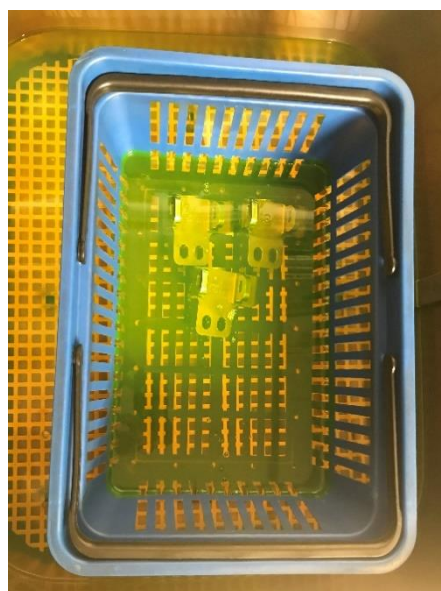
### 4.2.2 Alkalické čištění

Čištění součástí se provádí v alkalické lázni ponorem s vířením vzduchu 20 minut při teplotě lázně v rozmezí  $55 \div 75$  °C. Poté se součásti opláchnou vodou a přebytečná voda se ofoukne čistým stlačeným vzduchem. Dále následuje sušení součástí, a to při nastavené teplotě 55 °C.

### 4.2.3 Penetrační zkouška

Zkouška byla provedena fluorescenční kapilární metodou podle písemné návody PT 001/14 (Příloha č. 2) pro danou součást.

- 1) Nanesení penetrantu. Nanesení penetrantu spočívalo v ponoření součástí do penetrantu (Obr. 37), který musí mít teplotní rozmezí 10–38 °C. Penetrační čas byl stanoven na 20 minut. Po 10 minutách byly součásti vyjmuty z penetrační lázně a dalších 10 minut probíhal okap přebytečného penetrantu.



Obr. 37 Nanesení penetrantu ponorem

- 2) Odstranění penetrantu. To probíhá ostříkem čistou vodou. Teplota vody musí být 10–30 °C a tlak vody nesmí překročit 200 kPa. Ostřík se provádí pod

UV-A světlem. Doba ostřiku musí být co nejmenší, aby nedošlo k nadměrnému oplachu penetrantu. Po ostřiku se ještě odstraní přebytečná voda stlačeným čistým vzduchem o maximálním tlaku 170 kPa.

- 3) Sušení. Sušení se provádí v sušící peci po dobu 17 minut za teploty 55 °C.
- 4) Nanesení vývojky. V tomto případě se jednalo o suchou vývojku, která se nanášela naprášením ve vířivé komoře (Obr. 38) po dobu 20 minut. Po uplynutí tohoto času se součásti vyjmuly z vířivé komory a přebytečná vývojka byla odstraněna ofouknutím čistým stlačeným vzduchem o maximálním tlaku 30 kPa.



Obr. 38 Nanesení vývojky ve vířivé komoře


- 5) Kontrola součástí. Kontrola probíhá v zatměném prostoru kontrolní kabiny pod UV-A světlem. Celkový kontrolní proces musí být proveden do 2 hodin od nanesení vývojky. Před zahájením kontroly součástí si musí pracovníci adaptovat zrak na přítmí po dobu nejméně 1 minuty.

Samotné vyhodnocení zkoušených součástí se provádí podle předepsaných kritérií přípustnosti uvedených v písemné návodce.

Zkoušené součásti vyhovují předepsaným kritériím, a proto jsou vyhovující.

Provedení zkoušky se zapisuje do knihy kontrol NDT – PT a vypracuje se zkušební protokol viz (Obr. 39).



 Znojemská 5594/54 586 01 Jihlava Česká republika	<b>ZKUŠEBNÍ PROTOKOL</b> TEST REPORT	<b>Číslo:/No.:</b> <b>2020/213</b>
	<b>FLUORESCENČNÍ KAPILÁRNÍ</b> <b>ZKOUŠKA</b> FLUORESCENT PENETRANT INSPECTION	<b>Strana:/Page:</b> <b>1 z/of 1</b>
<b>Název dílu:/Part name:</b> <b>Port block extend without (Hrdlo vysouvání)</b>	<b>Číslo výkresu:/Drawing No.:</b> <b>C75302-1 (1 123 009)</b>	<b>Počet kusů:/ Number of pieces:</b> <b>24</b>
<b>Zákazník:/Customer:</b> <b>Safran Landing Systems</b>	<b>Zakázka výrobce č./Manufacturer order No.:</b> <b>89830/10</b>	<b>Operace č./Operation No.:</b> <b>60</b>
<b>Objednávka zákazníka č./Customer's order No.:</b> <b>721010021/80</b>	<b>Identifikační číslo dílu:/Part identification No.:</b> <b>---</b>	
<b>Zkušební předpis:/Test specification:</b> <b>Návodka:/Instruction:</b> <b>Rozsah zkoušky:/Scope of testing:</b> <b>Materiál:/Material:</b> <b>Tavba/Heat No.:</b> <b>Stav povrchu:/Condition of surface:</b>	<b>PNJ 4804-11; Pr-5000; IFC40-931-01</b> <b>PT 001/14</b> <b>100 % of surface</b> <b>AMS 5643 H1025</b> <b>A0717W</b> <b>after machining</b>	
<b>Klasifikace zkoušky dle ASTM E 1417:/Test classification according to ASTM E 1417: <b>I-A-3-a</b></b>	<b>Penetrant:/Penetrant:</b> <b>ARDROX 970P25E</b>	<b>Šarže:/Batch:</b> <b>C231926273; C232070912</b>
<b>Čistič penetrantu:/Penetrant removal:</b> <b>water</b>	<b>Šarže:/Batch:</b> <b>---</b>	<b>Šarže:/Batch:</b> <b>042854</b>
<b>Vývojka:/Developer:</b> <b>ARDROX 9D4A</b>	<b>Intenzita UV-A světla:/Black light intensity:</b> <b>1790 μW/cm<sup>2</sup></b>	<b>UV metr:/Gauge:</b> <b>XR-1000</b>
<b>Intenzita bílého světla:/Visible light intensity:</b> <b>4 LX</b>	<b>Intenzita bílého světla:/Visible light intensity:</b> <b>4 LX</b>	<b>Luxmetr:/Gauge:</b> <b>XR-1000</b>
<b>Zkušební teplota:/Test temperature:</b> <b>23 °C</b>	<b>Penetrační čas:/Penetration time:</b> <b>20 min.</b>	
<b>Vyvíjecí čas:/Developing time:</b> <b>20 min.</b>		
<b>Odchylky od zkušebního předpisu:/Deviation from Test specification:</b> <b>---</b>		
<b>Výsledek zkoušky:/Test result:</b>	<b>24 pcs accepted</b>	
<b>Vyhodnocení podle zkušebního předpisu:/Evaluation acc. to test specification:</b> <b>IFC40-931-01, point 10.1</b>	<b>vyhovuje:/passed:</b> <b>24 pcs</b>	<b>nevyhovuje:/not passed:</b> <b>---</b>
<b>Místo zkoušky:/Place of testing:</b> <b>Jihlava</b>	<b>Datum zkoušky:/Date of testing:</b> <b>22.9.2020</b>	
<b>Zkoušku provedl a vyhodnotil (jméno, stupeň):/Test performed and evaluated by (name, level):</b> <b>Josef Novák – Level II</b>		

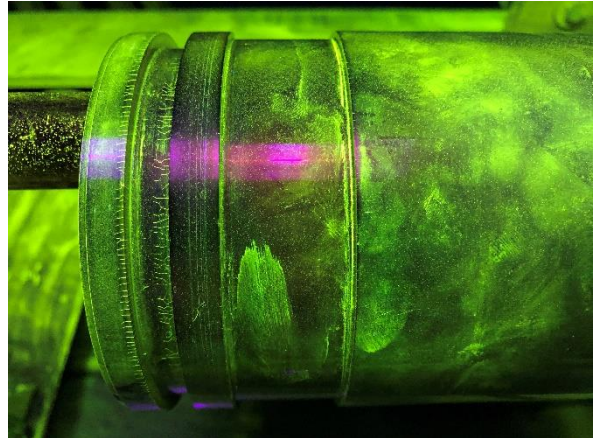
Obr. 39 Zkušební protokol Fluorescenční kapilární metoda

## 4.3 Ukázka indikací

### 4.3.1 Magnetická prášková metoda

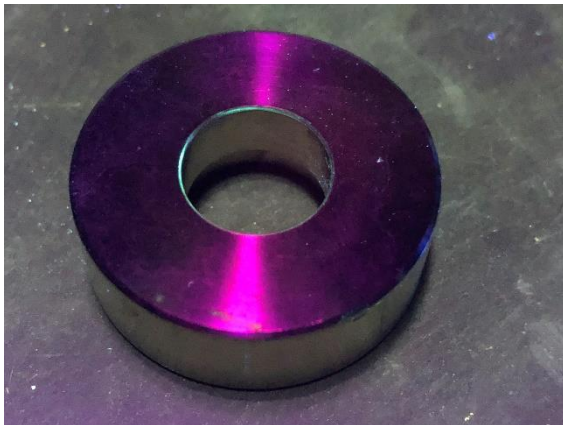


Obr. 40 Lineární indikace

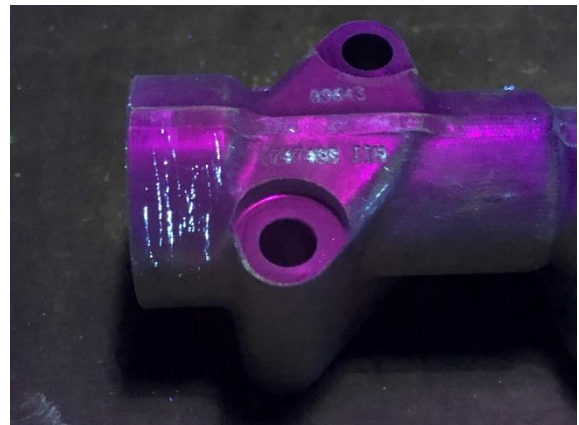


Obr. 41 Lineární indikace

### 4.3.2 Fluorescenční kapilární metoda



Obr. 42 Okrouhlé indikace



Obr. 43 Lineární a okrouhlé indikace

Zde uvedené indikace byly zjištěny při zkoušení součástí ve firmě JIHLAVAN, a.s. během mé stáže.

## 5 Závěr

V bakalářské práci byly popsány dvě metody nedestruktivního zkoušení. Jednalo se o magnetickou práškovou metodu a o fluorescenční kapilární metodu. Obě jsou nejpoužívanější a nejrozšířenější metody NDT. Hlavní využití mají v automobilovém, leteckém a energetickém průmyslu.

Magnetická prášková metoda slouží k detekci necelistvostí u feromagnetických materiálů, na povrchu i pod povrchem, kdy je zkoušená součást zmagnetizována a je polita suspenzí s magnetickým práškem, který odhalí indikaci.

Dále se bakalářská práce věnovala fluorescenční kapilární metodě. Tato metoda slouží k detekci necelistvostí na povrchu, a to u feromagnetických i neferomagnetických materiálů. Na zkoušenou součást řádně odmaštěnou a očištěnou je nanesen penetrant, který vnikne do případných necelistvostí. Po odstranění přebytečného penetrantu se nanese vývojka. Vývojka slouží jako absorbent, a pokud jsou na součásti necelistvosti, penetrant nad ni vystoupí a zvýrazní je díky UV-A světlu.

Následovalo popsání vyhodnocení indikací a porovnání obou zkoušek, kde se ukázalo, že obě zkoušky mají své výhody a nevýhody. Nelze tedy s určitostí říci, která metoda je lepší. Každá z nich má bohaté uplatnění.

Poslední částí bakalářské práce byla praktická část. Zde byly popsány zkušební postupy magnetické práškové metody a fluorescenční kapilární metody. Zkoušky musí být provedeny podle zkušebních postupů, aby bylo zajištěno dodržení předepsaných předpisů a nedošlo k nesprávnému vyhodnocení zkoušky. Tyto zkoušky byly provedeny pod dozorem certifikovaného pracovníka autorem práce ve firmě JIHLAVAN a.s. Zkoušené součásti byly vyhodnoceny jako vyhovující viz zkušební protokoly (Obr. 36) a (Obr. 39).

Na závěr praktické části bakalářské práce byly znázorněny fotografie součástí, u kterých byly nalezeny indikace. U metody magnetické práškové jsou to indikace lineární, které nejspíše vznikly při válcování výchozího materiálu (Obr. 40) a při opracování součásti (Obr. 41). U metody fluorescenční kapilární se jedná o vady lineární a okrouhlé, tyto indikace vznikly nejspíše při válcování výchozího materiálu (Obr. 42). a při kování polotovaru (Obr. 43).

## 6 Seznam literatury

[1] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.

[2] ATG – Advanced Technology Group, *Magnetická prášková metoda stupeň I, II*

[3] ATG – Advanced Technology Group, *Metoda kapilární stupeň I, II*

[4] DUBENSKÝ, Rudolf, Václav MINAŘÍK a František ČERMÁK. *Defektoskopie–nedestruktivní zkoušení*. 2.přepřac. vyd. Praha: ČVUT, 1992. ISBN 80-01-00844-4.

[5] ATG, *Magnetic particle testing* [online]. [vid. 2020-10-21].

Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-131&display=MT>

[6] ČSN EN ISO 9934-1. *Nedestruktivní zkoušení – Zkoušení magnetickou práškovou metodou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 24 s. Třídící znak 01 5046

[7] TECHNTEST, *Zkouška magnetická* [online]. [vid. 2020-11-28].

Dostupné z: [http://www.technotest.cz/zkouska\\_magneticka](http://www.technotest.cz/zkouska_magneticka)

[8] NDT Resource Center, *Magnetizing Current* [online]. [vid. 2020-11-28] Dostupné z: <https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/MagParticle/Physics/MagnetizingCurrent.htm>

[9] TUV NORD, *Magnetic-particle testing*, [online]. [vid. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://www.tuv-nord.com/lv/en/services/testing/non-destructive-testing-of-materials-and-structures-ndt/magnetic-particle-testing-mt/>

[10] ATG, *Penetrant testing* [online]. [vid 2020-12-06]. Dostupné z: <https://www.atg.cz/ndt-141&display=PT>

[11] ČSN EN ISO 3452-1. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017, 24 s. Třídící znak 01 5018

[12] MATCON, *Ketos ring*, [online]. [vid. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.matcon.com/en/ketos-ring>

- [13] ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA, *Magnetic field*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/science/magnetic-field>
- [14] SAMTEC, *Keys to magnetic field testing and permeability*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <https://blog.samtec.com/post/magnetic-field-testing-and-permeability/>
- [15] REILICH Jaroslav, *Magnetické vlastnosti látek*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek#>
- [16] MUDRUŇKOVÁ, Anna. *Elektrotechnické materiály I*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/07.html>
- [17] FYZWEB, *Změření povrchového napětí vody během chvilky*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <http://fyzweb.cz/clanky/index.php?id=144>
- [18] REILICH Jaroslav, *Jevy na rozhraní pevného tělesa a kapaliny*, [online]. [vid.2020-12-12]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/642-jevy-na-rozhrani-pevneho-telesa-a-kapaliny>
- [19] KRÁLOVÁ, Jana, *Kapilární jevy*, *Techmania* [online]. [vid.2020-12-13]. Dostupné z: <https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/struktura-latek/povrch-kapaliny/kapilarni-jevy#>
- [20] ASTM International, ASTM E 1444/E 1444M -16, Standard Practice for Magnetic Particle Testing
- [21] JIHLAVAN, a.s, PNJ 4806-11, Nedestruktivní zkoušení magnetickou práškovou metodou
- [22] ASTM International, ASTM E 1417/E 1417-16, Standard Practice for Liquid Penetrant Testing
- [23] JIHLAVAN, a.s, PNJ 4804-11, Nedestruktivní zkoušení fluorescenční kapilární metodou
- [24] *Magnetism* [online]. [vid. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www4.uwsp.edu/physastr/kmenning/Phys250/Lect19.html>

- [25] Guirong, X., Xuesong, G., Yuliang, Q., & Yan, G., *Analysis and innovation for penetrant testing for airplane parts*, [online]. [vid. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://www.scopus.com>
- [26] Kasai, N., Takada, A., Fukuoka, K., Aiyama, H., & Hashimoto, M., Quantitative investigation of a standard test shim for magnetic particle testing, [online]. [vid.20201-02-12]. Dostupné z: <https://www.scopus.com>
- [27] Li, L., Yang, Y., Cai, X., & Kang, Y., *Investigation on the formation mechanism of crack indications and the influences of related parameters in magnetic particle inspection*, [online]. [vid. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.scopus.com>
- [28] Wibowo, H., Karyono, S., Prasetya, T, A., Nugroho, B.A., *Non-destructive testinspection of gas metal arc weldingproducts with clamp and heat sink treatment on low carbon steel*, [online]. [vid. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.scopus.com>
- [29] Pacana, A., Siwec, D., Bednárová, L., *Method of choice: A fluorescent penetrant taking into account sustainability criteria*, [online]. [vid. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.scopus.com>

## 7 Seznam obrázků


Obr. 1 Princip nalezení vady na feromagnetickém materiálu [5] .....	3
Obr. 2 Magnetické pole [14] .....	4
Obr. 3 Pravidlo pravé ruky [24] .....	5
Obr. 4 Orientace magnetických domén [16] .....	6
Obr. 5 Přímá cirkulární magnetizace průchodem proudem [2] .....	7
Obr. 6 Průtok proudem v upínacím zařízení [2] .....	8
Obr. 7 Trubka s pomocným vodičem [2] .....	8
Obr. 8 Pólová magnetizace cívkou [2] .....	9
Obr. 9 Magnetizace jhem [1] .....	9
Obr. 10 Magnetizace indukci proudem [2] .....	10
Obr. 11 Kombinovaná magnetizace [1] .....	10
Obr. 12 Zkouška barevnou metodou [9] .....	12
Obr. 13 Zkouška fluorescenční metodou .....	13
Obr. 14 Velikost zrn [2] .....	13
Obr. 15 Sedimentační baňka .....	14
Obr. 16 Ketos ring .....	15
Obr. 17 Ketos ring při zkoušce .....	15
Obr. 18 Ketos bar .....	15
Obr. 19 Ketos bar při zkoušce .....	15
Obr. 20 Princip kapilární metody [10] .....	16
Obr. 21 Působení povrchového napětí [17] .....	17
Obr. 22 Smáčivost (a) a nesmáčivost (b) [18] .....	17
Obr. 23 Kapilární elevace a deprese [19] .....	18
Obr. 24 Uzavření vady tryskáním [3] .....	19
Obr. 25 Indikace vady [3] .....	21
Obr. 26 Vývojka .....	21
Obr. 27 PSM-5 měrka .....	24
Obr. 28 Lineární a okrouhlá indikace [2] .....	25
Obr. 29 Lineární indikace - Magnetická metoda .....	26
Obr. 30 Lineární indikace - Kapilární zkouška .....	26
Obr. 31 Pístnice .....	27

Obr. 32 Hrdlo.....	27
Obr. 33 Gaussmetr.....	28
Obr. 34 Demagnetizační tunel.....	28
Obr. 35 Horizontální magnetický defektoskop.....	28
Obr. 36 Zkušební protokol Magnetická prášková metoda .....	30
Obr. 37 Nanesení penetrantu ponorem.....	31
Obr. 38 Nanesení vývojky ve vířivé komoře .....	32
Obr. 39 Zkušební protokol Fluorescenční kapilární metoda .....	33
Obr. 40 Lineární indikace .....	34
Obr. 41 Lineární indikace .....	34
Obr. 42 Okrouhlé indikace.....	34
Obr. 43 Lineární a okrouhlé indikace.....	34



## 8 Přílohy

Příloha č. 1: Písemná návodka – magnetická zkouška

 Znojemská 5594/54 586 01 JIHLAVA	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b>  <b>MPI</b>	Číslo: <b>MT 017/13 - A</b>	Strana:
		Revize: b	1 / 3

### Provést zkoušku magnetickou práškovou metodou, fluorescenčním mokrým způsobem

Detail číslo: **0 346 004**

Základní rozměry: 28/ø43x191 mm

Název detailu: Pístnice

Materiál: ONL L-ROL

#### Údaje o zkoušce:

Související dokumenty: PNJ 4806-11; PNJ 4802-99 čl. 9.2

Časové zařazení zkoušky: **45 operace** - po ukončení předepsaných výrobních operací a UZ – čištění

Požadovaný rozsah zkoušky: 100 % dostupného povrchu detailu

Typ magnetizačního zařízení: UNIMAG 1200 AC - DC

Druh magnetizačního proudu: střídavý proud (AC)  
délka impulzu 1 sekunda; počet impulzů 5

Zkušební prostředek: Carrier II s 14A Magnaglo

Gaussmetr: F.W.BELL – model 5180

Kritéria přípustnosti: PNJ 4802-99 čl. 9.2, třída C2 podpovrchové vady – trhliny nejsou povoleny

Revize	Datum	Podpis	Revize	Datum	Podpis
a	21.9.2015				
b	30.8.2016				
Vypracoval: Pracovník, Level 2		Schválil: Pracovník, Level 3		Schválil zákazník:	
Dne: 26.8.2013		Dne: 30.8.2013		Dne:	

### **Vlastní postup zkoušení:**

#### **1. Kontrola zbytkového magnetismu před zkouškou**

Zbytkový magnetismus nesmí být u detailu větší než 3 G (0,24 kA/m), pokud je větší musí být demagnetizován.

#### **2. Magnetizace přímá cirkulární**

- a) nastavení hodnoty magnetizačního proudu pro daný detail: 450 A
- b) umístění detailu mezi pólové nástavce s nástavcem na technologickém výstupku
- c) kontrola intenzity magnetického pole na prvním zkoušeném detailu, viz obrázek musí být v rozmezí 30 až 60G (2,4 až 4,8 kA/m) – kontrolovat na dvou pozicích
- d) nanášení suspenze poléváním: před a během magnetizace, ale musí být ukončeno před ukončením magnetizace
- e) magnetizace ve dvou krocích (pootočení detailu mezi pólovými nástavci o 180°)

#### **3. Kontrola detailů**

Vizuální prohlídka detailu pod UV světlem v zatemněné inspekční komoře.

#### **4. Kontrola zbytkového magnetismu před zkouškou**

Zbytkový magnetismus nesmí být u detailu větší než 3 G (0,24 kA/m), pokud je větší musí být demagnetizován.

#### **5. Magnetizace podélná**


- a) nastavení hodnoty magnetizačního proudu pro daný detail: 1350 A
- b) umístění detailu mezi pólové nástavce s nástavcem na technologickém výstupku
- c) kontrola intenzity magnetického pole na prvním zkoušeném detailu, viz obrázek musí být v rozmezí 30 až 60G (2,4 až 4,8 kA/m) – kontrolovat na dvou pozicích
- d) nanášení suspenze poléváním: před a během magnetizace, ale musí být ukončeno před ukončením magnetizace
- e) magnetizace ve dvou krocích (pootočení detailu mezi pólovými nástavci o 180°)

#### **6. Kontrola detailů**

Vizuální prohlídka detailu pod UV světlem v zatemněné inspekční komoře.

#### **7. Demagnetizace**

V demagnetizačním tunelu. Po demagnetizaci nesmí být zbytkový magnetismus na detailu větší než 3 G (0,24 kA/m).

 Znojemská 5594/54 586 01 JIHLAVA	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b>  <b>MPI</b>	Číslo: <b>MT 017/13 - A</b>	Strana:
		Revize: b	3 / 3

### 8. Značení a opatření po zkoušce

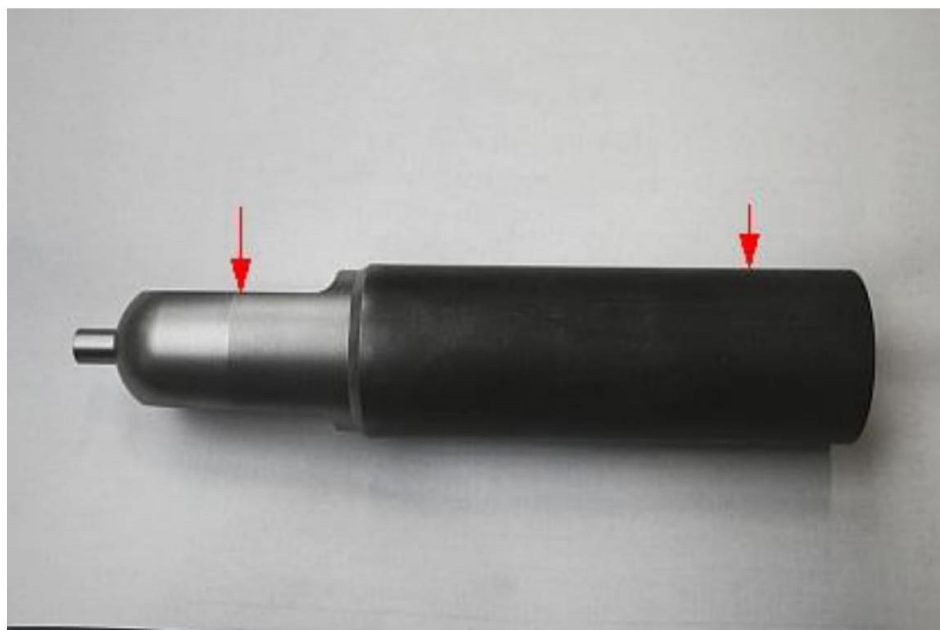
Značení detailů se neprovádí.

Záznam o zkoušce se provádí do knihy kontroly NDT – MT.


Uvolnění součásti je prováděno potvrzením u příslušné operace v průvodce práce.

Čištění detailů po zkoušce se neprovádí na pracovišti OKV / NDT - MT, ale jako samostatná následující operace.

Detail místa pro měření tangenciální složky intenzity magnetického pole Hallovou sondou Gaussmetru:



Příloha č. 2: Písemná návodka – kapilární zkouška

 Znojemská 5594/54 586 01 Jihlava	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b> <b>WRITTEN INSTRUCTION</b>  <b>FPI</b>	Číslo / Number: <b>PT 001/14</b>	Strana / Page: 1 / 5
		Revize / Revision: <b>h</b>	


**Provést fluorescenční kapilární zkoušku**  
**Perform fluorescent penetrant examination**

Zákazník / Customer: Safran Landing Systems

Materiál / Material: ocel, slitina hliníku, slitina mědi / steel, aluminium alloy, copper alloy

**Seznam detailů / List of details:**


Název detailu <i>Detail name</i>	Číslo výkresu (JIHLAVAN) <i>Drawing number (JIHLAVAN)</i>	Číslo výkresu (SLS) <i>Drawing number (SLS)</i>	Funkční třída <i>Function class</i>
Matice válce <i>Jan nut, cylinder</i>	<b>1 122 105</b>	C75376	CF2
Kroužek vodícího pístu <i>Wear ring, piston</i>	<b>1 122 107</b>	C75378	CF2
Kroužek vodící pístnice <i>Wear ring, piston rod</i>	<b>1 122 108</b>	C75379	CF2
Kroužek <i>Ring, extend snubbing</i>	<b>1 122 114</b>	C75388	CF2
Kroužek <i>Retainer, extend snubbing</i>	<b>1 122 115</b>	C75389	CF2
Regulátor hrdla vysouv. <i>Rate control, extend port</i>	<b>1 122 116</b>	C75391	CF2
Hrdlo vysouvání <i>Port block extend without</i>	<b>1 123 009</b>	C75302-1	CF2
Hrdlo <i>Transfer port block</i>	<b>1 123 017</b>	C75303	CF2
Kroužek <i>Ring, extend snubbing</i>	<b>1 123 114</b>	C75368	CF2
Kroužek pojistný <i>Ring, extend snubbing</i>	<b>1 123 115</b>	C75369	CF2
Sedlo pružiny <i>Seat - Spring</i>	<b>1 780 003</b>	743824	CF2
Kroužek závitový <i>Ring - Threaded</i>	<b>1 780 005</b>	743826	CF3
Těleso <i>Machined rough body</i>	<b>1 780 006</b>	747488	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 780 106</b>	A81462-6	CF2
Kroužek <i>Bush</i>	<b>1 781 005</b>	C73530	CF1
Těleso <i>Valve seat</i>	<b>1 782 002</b>	A88280	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 784 001</b>	C72035	CF2

 Znojemská 5594/54 586 01 Jihlava	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b> <b>WRITTEN INSTRUCTION</b>  <b>FPI</b>	Číslo / Number: <b>PT 001/14</b>	Strana / Page:
		Revize / Revision: <b>h</b>	2 / 5

Název detailu <i>Detail name</i>	Číslo výkresu (JIHLAVAN) <i>Drawing number (JIHLAVAN)</i>	Číslo výkresu (SLS) <i>Drawing number (SLS)</i>	Funkční třída <i>Function class</i>
Šoupátko <i>Valve</i>	<b>1 784 002</b>	C72037	CF2
Zátka <i>Plug</i>	<b>1 784 003</b>	C72101	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 785 001</b>	C72090	CF2
Šoupátko <i>Valve</i>	<b>1 785 002</b>	C72182	CF2
Zátka <i>Plug</i>	<b>1 785 003</b>	C72184	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 786 001</b>	C72209	CF2
Šoupátko <i>Valve</i>	<b>1 786 002</b>	C71660-1	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 787 001</b>	C72209-5	CF2
Šoupátko <i>Valve</i>	<b>1 787 002</b>	C72513-4	CF2
Těleso <i>Body</i>	<b>1 788 001</b>	C72209-3	CF2
Šoupátko <i>Safety valve</i>	<b>1 788 002</b>	C72442-3	CF3
Šoupátko <i>Valve</i>	<b>1 789 001</b>	C72513-3	CF3
Těleso <i>Body</i>	<b>1 789 003</b>	A81462	CF2

Revize / <i>Revision:</i>	Datum / <i>Date:</i>	Podpis / <i>Signature:</i>	Revize / <i>Revision:</i>	Datum / <i>Date:</i>	Podpis / <i>Signature:</i>
e	17.6.2016		g	30.1.2019	
f	31.3.2017		h	16.6.2020	
Vypracoval / <i>Established:</i> Pracovník, Level 2		Schválil / <i>Approved:</i> Pracovník, Level 3		Schválil zákazník / <i>Approved by customer:</i>	
Dne / <i>Date:</i>	6.10.2014	Dne / <i>Date:</i>	7.10.2014	Dne / <i>Date:</i>	

 Znojemska 5594/54 586 01 Jihlava	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b> <b>WRITTEN INSTRUCTION</b>  <b>FPI</b>	Číslo / Number: <b>PT 001/14</b>	Strana / Page: 3 / 5
		Revize / Revision: h	

**Údaje o zkoušce / Test details:**

Související dokumenty / Related documents: PNJ 4804-11; Pr-5000; IFC40-931-01

Časové zařazení zkoušky / Inclusion of test in the process:

po ukončení výrobních operací a čištění UZ – mimo pracoviště PT  
*after completion of production operations and cleaning UT – outside of PT workplace*

Požadovaný rozsah zkoušky / Required scope of test:

100 % povrchu detailu / 100 % of detail surface

Použitý kapilární systém / Used penetrant system: IA3a (podle / per AMS2644;

ASTM E 1417)

S2 (podle / per In-5000)


Zkušební prostředky / Testing Materials: Ardrox 970P25E; Ardrox 9D4A;

Ardrox 9D1B – pouze pro ověřování relevance indikací / *for verification of an indication relevance only*

Penetrační čas / Penetration time: 20 minut / minutes

Vyvolávací čas / Developing time: minimálně 20 minut / 20 minutes as minimum

Kritéria přípustnosti / Admissibility criteria: IFC40-931-01 čl. / point: 10.1

 Znojemska 5594/54 586 01 Jihlava	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b> <b>WRITTEN INSTRUCTION</b>  <b>FPI</b>	Číslo / Number: <b>PT 001/14</b>	Strana / Page: 4 / 5
		Revize / Revision: <b>h</b>	

**Vlastní postup zkoušení / Actual testing process:**

**1. Odmaštění / Degreasing**

Je prováděno dle písemné návodky č. 44/08.

*It is performed according to written instruction card no. 44/08.*

**2. Nanesení penetrantu ARDROX 970P25E ponorem / Application of penetrant ARDROX 970P25E by submerging**

10 minut ponor.

Po vyjmutí detailů z penetrantu okap přebytečného penetrantu – 10 minut.

Uvedené minimální časy musí být dodrženy.

*10 minutes submerged.*

*After removal of details from the penetrant, dripping of excessive penetrant – 10 minutes.*

*Stated minimum times shall be observed.*

**3. Odstranění přebytečného penetrantu / Removal of excessive penetrant**

Ostřík vodou při teplotě 10 ÷ 30 °C a maximálním tlaku vody 200 kPa co nejkratší dobu, maximálně 2 minuty.

Ofouknutí k odstranění vody čistým stlačeným vzduchem při tlaku maximálně 170 kPa.

*Spraying with water at 10 ÷ 30 °C and maximum water pressure 200 kPa for shortest possible time, maximally 2 minutes.*

*Blowing to remove water by pure pressure air at pressure maximally 170 kPa.*

**4. Sušení / Drying**

17 minut při nastavené teplotě 55 °C.

*17 minutes with set temperature 55 °C.*

**5. Nanesení suché vývojky ARDROX 9D4A naprášením / Application of dry developer ARDROX 9D4A by dusting**

Doba nanášení 20 minut.


Odstranění přebytečné vývojky ofouknutím čistým stlačeným vzduchem při maximálním tlaku 30 kPa.

Kontaktní doba před odstraněním přebytku vývojky – max. 1 hodina

*Application time 20 minutes.*

*Removal of excessive developer by blowing with clean pressure air at maximum pressure 30 kPa.*

*Contact period before elimination of excess developer – 1 hour max.*

 Znojemská 5594/54 586 01 Jihlava	<b>PÍSEMNÁ NÁVODKA</b> <b>WRITTEN INSTRUCTION</b>  <b>FPI</b>	Číslo / Number: <b>PT 001/14</b>	Strana / Page:
		Revize / Revision: h	5 / 5

**6. Kontrola detailů / Check of details**

Vizuální prohlídka pod UV světlem v zatemněné inspekční komoře.  
Celý proces kontroly musí být proveden do 2 hodin po nanesení vývojký.

*Visual inspection under UV light in a dark inspection room.*

*The whole checking process needs to be completed within 2 hours of application of the developer.*

**7. Značení a opatření po zkoušce / Marking and measures after the test**

Značení detailů se neprovádí.

Záznam o zkoušce se provádí do Knihy kontroly NDT – PT.

Uvolnění součástí je prováděno potvrzením (datum, podpis, osobní razítko) u příslušné operace v průvodce práce.

Čištění detailů po zkoušce se neprovádí na pracovišti OKV / NDT – PT, ale jako samostatná následující výrobní operace.

*Marking of details is not performed.*

*Test record is carried out to NDT – PT Look Book.*

*Release of the parts is performed by confirmation (date, signature, person stamp) of relevant operation in the job card (traveler).*

*Cleaning of details after the test is not performed at the workplace OKV / NDT – PT, but as a separate following manufacturing operation.*

--//--