VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NEDESTRUKTIVNÍ METODY KONTROLY SVAROVÝCH SPOJŮ

NON-DESTRUKTIVE METHODS OF CONTROL OF WELDED JOINTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — MARTIN ČERNICKÝ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — ING. IVO DOHNAL
SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Černický

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

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

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

Nedestruktivní metody kontroly svarových spojů

v anglickém jazyce:

Non-destructive methods of control of welded joints

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Porovnání používaných metod nedestruktivního zkoušení svarů. Popis základních principů jednotlivých zkoušek.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární rešerše se zaměřením na metody zabývající se nedestruktivním zkoušením svarových spojů.

Seznam odborné literatury:

1. HRIVŇÁK, Ivan. Zváranie a zvaritelnosť materiálov. 1. vyd. Bratislava:Slovenská technická univerzita v Bratislave v nakladatelstve STU, 2009.492 s. ISBN 978-80-227-3167-6

2. Kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. 1.vyd. Ostrava: Zeross. 2001. 396 s. ISBN 80-85771-81-0

3. Kolektiv autorů. Materály a jejich svařitelnost. 2., upr. vyd. Ostrava : ZEROSS, 2001. 292 s. ISBN 80-85771-85-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Dohnal

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 30. 10. 2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c. Děkan fakulty

ABSTRAKT

ČERNICKÝ Martin: Nedestruktivní metody kontroly svarových spojů

Práce vypracovaná v rámci bakalářského studia oboru strojírenství předkládá rešerši současných metod nedestruktivní kontroly svaru. Na základě literární studie problematiky nedestruktivních metod kontroly svarových spojů byly uvedeny současné metody kontroly. Nejdříve je uvedena problematika vad svarových spojů. Poté je uvedeno shrnutí základních principů a využití metod nedestruktivní kontroly svarových spojů.

Klíčová slova: Svařování, nedestruktivní kontrola, svarový spoj

ABSTRACT

ČERNICKÝ Martin: Non-destructive methods of control of welded joints

The thesis elaborated in frame of bachelor studies branch mechanical engineering. The thesis is submitting research of present methods of non-destructive control of welded joints. Pursuant to of the literary pursuit the present methods of control of welded joints were written. First it mentioned problematics of defect of welded joints. After it is mentioned a summary of principles and application of methods of non-destructive control of welded joints.

Keywords: Welding, non-destructive control, welded joint

ČERNICKÝ, Martin. *Nedestruktivní metody kontroly svarových spojů*. Brno, 2013. 35s, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Ivo Dohnal.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 23. května 2013

……

Martin Černický

Poděkování

Tímto děkuji svému vedoucímu panu Ing. Ivo Dohnalovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

Obsah

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Prohlášení
Poděkování

Úvod ... 11
1. Svařování ... 12
1.1 Historie svařování ... 12
2. Vady svarového spoje ... 14
2.1 Typy vad svarového spoje ... 14
2.2 Dělení vad svarového spoje ... 14
2.3 Příčiny vzniku vad ... 15
2.4 Posuzování vad ... 16
3. Kotrola svarů ... 17
3.1 Nedestruktivní zkoušky svarů ... 17
3.2 Vizuální zkouška ... 18
3.2.1 Princip vizuální zkoušky ... 18
3.2.2 Podmínky pro provedení vizuální zkoušky ... 18
3.2.3 Kontrola a vyhodnocení kvality svaru ... 19
3.3 Zkouška kapilární ... 19
3.3.1 Princip kapilární zkoušky ... 19
3.3.2 Použitelnost kapilární zkoušky ... 20
3.3.3 Dělení kapilárních metod ... 20
3.3.4 Dělení kapilárních prostředků ... 20
3.3.5 Pracovní postup ... 23
3.4 Zkouška magnetická ... 24
3.4.1 Princip metody ... 24
3.4.2 Způsoby magnetizace ... 24
3.4.3 Druhy prášků ... 25
3.4.4 Postup zkoušky ... 25
3.4.5 Vyhodnocení výsledků zkoušky ... 26
3.4.6 Odmagnetování ... 26
3.5 Metoda ultrazvuková ... 27

3.5.1 Princip ultrazvukové metody 27
3.5.2 Zdroje ultrazvukových impulsů 28
3.5.3 Metody zkoušení ultrazvukem 28
3.5.4 Použitelnost ultrazvukové metody 29
3.6 Zkouška prozářením (RTG) 29
3.6.1 Princip metody 29
3.6.2 Použitelnost 30
3.6.3 Druhy záření 30
3.6.4 Radiografický film 31
3.6.5 Použitelnost 32
3.6.6 Vyvolávání 33
3.6.7 Vyhodnocení radiogramů 33
Závěr 35

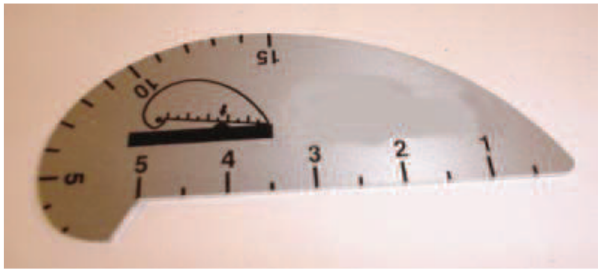
Úvod [1, 2, 3, 12, 20]

Historie nedestruktivního zkoušení je velmi bohatá. Technologie vychází z poznatků a zákonů objevených v 18. a 19. století, a na počátku 20. století. Prospěch lidstvu spočívá v tom, že zachránila mnoho lidských životů a zabránila velkým ztrátám na majetku.

Většina lidí si neuvědomuje, jak důležitou roli zastává praxe nedestruktivního zkoušení a považuje jej za samozřejmost. Avšak v moment, kdy dojde k havárii následkem toho, že člověk nedostatečně využil nedestruktivních zkoušek k zajištění bezpečnosti a zanedbají-li vedoucí pracovníci svou odpovědnost za prosazení požadavků k bezpečnosti, dochází k nehodám, malým či velkým, které se vůbec nemusely stát.

Proto se v současné době klade stále větší důraz na kvalitu provedených svarů. Kontrola je prováděna vedle metod destruktivních i metodami nedestruktivními, které se dělí na zjišťování vad povrchových a vnitřních. Mezi zkoušky k určení povrchových vad patří vizuální kontrola, penetrační (kapilární) kontrola a magnetická prášková kontrola. Ke zkouškám k určení vnitřních vad se řadí kontrola prozářením a kontrola ultrazvukem.

Obr. 1: Přenosná sada pro magnetickou kontrolu [12]



Obr. 2: Jednoduchá měrka na koutové a tupé svary [20]

1. Svařování

1.1 Historie svařování [1, 2, 3, 18]

Se svařováním, jako způsobem nerozebíratelného spojení dvou součástí stejného nebo různého materiálu, se bylo možno setkat již ve starověku. První příklady svarů byly nalezeny v době bronzové asi 2000 let před naším letopočtem. Tyto spoje byly tvořeny svařováním kováním. V době železné uměli lidé ve Starém Egyptě a na Středním Východě svařovat kovářsky součásti ze železa již 1000 let před naším letopočtem. Kované součástky z bronzu a ze železa byly nalezeny v egyptských pyramidách. V době středověku se kovářské svařování dale rozvíjelo, jako důkaz se dá považovat železný sloup v Dillí v Indii vyrobený okolo roku 310 viz. obr. 3.

Až do 19. století neexistovalo svařování ve své dnešní podobě. Kolem roku 1800 v Anglii objevil Humphry Davies elektrický oblouk. Později byla objevena výroba acetylenu, což umožnilo vyvinout vysokou teplotu k natavování železa. S rozvojem generatorů elektrického proudu bylo možné využívat elektrického oblouku k tavení kovu a obloukovému nebo odporovému svařování. V tomto období se rozšířilo svařování a řezání plamenem a obloukové svařování uhlíkovou elektrodou. Kolem roku 1900 jsou první zmínky o svařování pomocí obalené elektrody. V obalu byla přítomna hlína a vápno, které částečně chránily kov před oxidací. Ale až Oskar Kjellberg rozvedl tuto myšlenku do takové míry, že se dala průmyslově využít. Do obalu přidával minerály - uhličitany a silikáty. Elektroda se před svařováním vysušovala. Počátkem 20. století se začalo využívat svařování v ochranné atmosféře. Zprvu se využívala atmosféra na bázi vodíku, později argon, helium. Dále se kromě uhlíkové elektrody začalo používat i wolframové netavící se elektrody.

Rozvoj strojírenství žádal zvýšení produktivity svařování zdokonalováním způsobu svařování. Nejefektivnější způsob se později ukázal jako svařování pod tavidlem, kdy oblouk hořel pod vrstvou prášku nebo tavidla. Svařování netavící se elektrodou zaznamenalo značný vývoj díky použití argonu a helia jako ochranných plynů. Použití těchto plynů pomohlo získat kvalitní sváry na hliníku a hořčíkových slitinách. Největšího zdokonalení se dočkalo obloukové svařování až po druhé světové válce, kdy byl vyvinut způsob, při kterém se netavitelná elektroda nahradila tavícím se drátem. Dále bylo zavedeno svařování v aktivních plynech. Na zvýšení kvality se prováděly i další experimenty, jedním z nich byla výroba drátu, v jehož jádře bylo určité množství tavidla. Další vývoj přidal k tomuto drátu i vnější vrstvu tavidla, což umožnilo vypuštění aktivního plynu. Další modifikace proběhla tak, že se do oblasti sváru přiváděl navíc ochranný plyn.

V roce 1957 bylo patentováno využití plazmového oblouku pro svařování. Plazmový hořák umožňuje získání o hodně vyšší teploty než elektrický oblouk, což umožnilo svařování těžkotavitelných kovů. Jako další metoda se rozvinulo svařování elektrovoným paprskem. Při soustředěni tohoto paprsku na jedno místo vzniká kvalitní a úzký svár. Své uplatnění v současnosti má nejvíce v leteckém průmyslu a speciální výrobě. Jak bylo uvedeno, v 60. letech minulého století byl bouřlivý rozvoj technologie

svařování a bylo vyvinuto mnoho dalších způsobú spojování jako například laserové svařování, svařování třením, ultrazvukem, výbuchem a hybridní způsoby kombinující různé techniky svařování.

Obr. 3:Železný sloup v Dillí [18]

2. Vady svarového spoje

2.1 Typy vad svarového spoje [1, 2, 3, 16]

Vada výrobku je považována každá odchylka od vlastností určených technickými normami, podmínkami nebo předem dohodnutým vzorkem. Vady výrobku mohou být vady zjevné a vady skryté:

- Vady zjevné jsou zjistitelné pouhým okem nebo pomůckami.
- Vady skryté jsou zjistitelné přístroji nebo laboratorními testy.

Dále jsou vady přípustné a nepřípustné:

- Vady přípustné jsou takové, které příslušný předpis dovoluje a jejich odstranění není nezbytné.
- Vady nepřípustné nevyhovují povoleným hodnotám a dále se dělí na opravitelné a neopravitelné.

2.2 Dělení vad svarového spoje [1, 2, 3, 16]

Vady ve spoji se dělí:

Dle polohy:

- povrchové (nacházejí se na povrchu svaru)
- vnitřní (uvnitř svaru, okem jsou nezjistitelné)

Dle charakteru (dělení a číselné značení v souladu s normou ČSN EN ISO 6520-1):

- Trhliny (příčné, podélné, kráterové, rozvětvené)
- Dutiny (bubliny, staženiny, póry)
- Vměstky (kovové, tavidlové, struskové, oxidické)
- Studený spoj (Mezi základním a přídavným materiálem nedošlo ke vzniku kovové vazby)
- Neprůvar (kořen svaru není dostatečně provařen)
- Vady tvaru a rozměru (nadměrné převýšení svaru, nepravidelná šířka svaru, neúplné vyplnění svaru a další)
- Různé vady (vada stehu, stopy po broušení, stopy po hoření oblouku, rozstřik)

2.3 Příčiny vzniku vad [2, 3, 16]

Trhliny (za tepla, za studena, žíhací trhliny, trhliny lamelární):

Příčina vzniku trhlin za tepla je tuhnutí a chladnutí tavné lázně za teplot 1200-800 °C a je závislá nejvíce na metalurgické čistotě materiálů. Důvod vzniku je hlavně chemické složení materiálu (obsah síry, uhlíku a legur).

Trhliny za studena vznikají při teplotách 200-300 °C po transformaci austenitu na rozpadové struktury při působení vodíku a tahových napětí.

Lamelární trhliny vznikají v základním materiálu a v tepelně ovlivněných oblastech spoje. Vznikají nejvíce za zvýšených teplot, avšak šířit se mohou i za studena. Příčina vzniku je napětí ve směru tloušťky svařovaného kusu. Žíhací trhliny vznikají při prudkém ohřevu svaru nebo při tvorbě vícevrstvého svaru.

Dutiny:

Vznikají při nedostatečném očištění svarových ploch, přístupem vzdušné vlhkosti ke svaru nebo při použití nevysušené bazické elektrody.

Vměstky:

Struskové vměstky vznikají při nedokonalém odstranění strusky mezi jednotlivými vrstvami svaru, pokud je špatně provedena svarová housenka nebo struska předbíhá oblouku svařování obalenou elektrodou. Oxidické vměstky vznikají v důsledku nedokonalé přípravy povrchu. Kovové vměstky vznikají v důsledku porušení proudové ochrany, dotekem o svařovaný materiál při zapalování oblouku nebo při doteku elektrody a tavné lázně.

Studený spoj:

Vzniká v důsledku nedokonalého spojení přídavného kovu a základního materiálu. Mezi hlavní příčiny patří velká rychlost svařování, nízký svařovací proud, malý průměr elektrody.

Neprůvar:

Neprůvar vzniká nejčastěji při nedostatečném provaření kořene svaru v důsledku neúplného natavení základního materiálu. Hlavní příčiny jsou vysoká rychlost svařování, malá mezera v kořeni svaru, malý svařovací proud.

Vady tvaru a rozměru svaru:

Většina těchto vad je způsobena nízkou zručností pracovníka. Nadměrné převýšení je odstranitelné broušením. Zápaly na okraji povrchu svaru jsou ostrá prohloubení mezi svarovou housenkou a základním materiálem. Vznikají vytavením základního materiálu. Nejčastější výskyt je u koutových svarů a jedny z hlavních příčin vzniku jsou vysoký svařovací proud, špatný průměr elektrody.

2.4 Posuzování vad [3, 16]

Hodnocení vad vyskytujících se ve svarových spojích při tavném svařování uvádí norma ČSN ISO 6520 a také norma ČSN EN ISO 5817, kde jsou uvedeny tolerované velikosti vad v souladu s předepsaným stupněm jakosti.

Přípustnost vad u svarů je určena druhem, velikostí a výskytem vad v závisloti na druhu svaru a jeho namáhání. Určuje ji konstruktér na základě očekávaného namáhání. Pracovník provádějící kontrolu následně určuje, zda svar vyhovuje předepsaným nárokům. Pracovník provádějící nedestruktivní kontrolu musí být kvalifikován dle ČSN EN 473.

3. Kotrola svarů [1, 2, 3, 16]

Kontrolu svarů dělíme podle následného vlivu na zkoušený spoj na:

- Destruktivní (pořušení svaru rozlomením, řezem a dalšími)
- Nedestruktivní (nedojde k porušení svaru)

Nedestruktivní metody jsou nejvyužívanější zkoušky z důvodů nepořušení spoje a možnosti spoj následně využívat. Vycházejí z předpokladu, že pokud ve svarovém spoji nejsou vady, bude tento spoj funkční. Tento předpoklad není zcela pravdivý, ale v praxi není u nedestruktivních metod možnost ověření a doložení všech užitných vlastností spoje. Například pevnost spoje a mez únavy svarového spoje.

Zbytek těchto vlastností se neprokazuje (zahrne se do výpočtu formou koeficientů nejistoty) nebo se prokazuje zkouškami destruktivními. Tyto zkoušky mají za předpoklad skutečnost, že pokud všechy zkoušené kusy vyhovují toleranci, pak i kusy nezkoušené budou vyhovovat. Tento předpoklad ale platí pouze v případě dostatečně přesné opakovatelnosti technologických podmínek.

3.1 Nedestruktivní zkoušky svarů [3, 16]

Nedestruktivní zkoušky svaru se dělí podle druhu zjišťování vad na povrchové a vnitřní.

Metody pro povrchové vady se dále dělí na:

- Vizuální
- Kapilární
- Magnetické

Metody pro určení vnitřních vad:

- Prozářením (RTG)
- Ultrazvuk

3.2 Vizuální zkouška

3.2.1 Princip vizuální zkoušky [3, 16]

Provedení vizuální zkoušky se řídí dle normy ČSN EN 970. Vizuální zkouška je nejjednodušší a zároveň nejlevnější ze všech zkoušek. Princip zkoušky spočívá v kontrole svaru pouhým zrakem (metoda přímá), kdy dráha mezi okem a kontrolovaným svarem není přerušena. Kontrola se provádí bez pomůcek nebo s pomůckami - zrcadlo, lupy. Nebo za použití přístrojů (metoda nepřímá), která se provádí, pokud není přímá kontrola proveditelná z důvodu nepřístupnosti nebo z důvodu bezpečnosti. K této metodě se využívá zařízení jako videoskopy, fotoaparáty, přístroje s optickými vlákny. Avšak u těchto zařízení musí být prokázáno, že jsou vhodné pro daný účel kontroly.

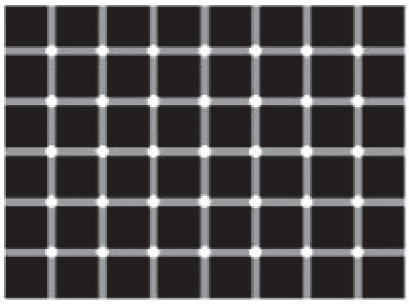
Posuzují se vady na povrchu svarových spojů, přilehlá tepelně ovlivněná oblast a základní materiál přilehlý ke svaru.

3.2.2 Podmínky pro provedení vizuální zkoušky [2, 3, 16]

Pracovník provádějící zkoušku musí být řádně seznámen s přislušnou normou, pravidly, specifikacemi, musí mít dobrou zrakovou schopnost (ověřenou 1x ročně) a mít znalost o použitém typu svařování.

Podmínky pro provedení kontroly:

- Vzdálenost od pozorovaného objektu menší než 600mm
- Úhel pozorování větší než 30°
- Intenzita osvětlení v rozsahu 350 až 500 Lx
- Při použití lupy zvětšení 2-5x



Obr. 4: Optický klam kontrastem [14]

3.2.3 Kontrola a vyhodnocení kvality svaru [1, 3]

Vizuální kontrola bývá často doplněna o kontrolu geometrických rozměrů svaru, při které se používají měřidla (posuvné měřítko, měrky, hloubkoměry nebo úhloměry a další). Vyhodnocení kontroly bývá provedeno dle ČSN EN ISO 5817 pro svary u ocelí nebo ČSN EN ISO 10042 pro svary u hliníku, případně dle technických specifikací. Svaru se přiřadí stupeň jakosti v závislosti na jeho namáhání.

Sledované vady svarů:

- Trhliny
- Pravidelnost kresby krycí vrstvy
- Nadměrné převýšení krycí vrstvy
- Pórovitost na povrchu
- Zápaly
- Nadměrné převýšení kořene
- Neprovařenost kořene

3.3 Zkouška kapilární

3.3.1 Princip kapilární zkoušky [3, 10, 16]

Kapilární zkouška je založena na využití vlastností fázových rozhraní a jevů, označovaných jako kapilární jevy. Princip spočívá ve využití vzlínavosti a smáčivosti kapalin (penetrantů) a jejich barvě nebo záření. Těmito kapalinami se pokryje povrch, aby mohly vniknout do necelistvostí vycházejících na povrch. Po nanesení a odstranění přebytku penetrantu vzlíná zbylý penetrant z vad na povrch, reaguje s vývojkou a tvoří barevnou nebo fluorescenční indikaci. Indikace vad se hodnotí vizuálně. Povrch svaru musí být řádně očištěn a odmašťen. Kapilární zkouška se provádí dle normy ČSN EN 579-1 a vyhodnocení se provadí dle normy ČSN EN ISO 1289.

Obr. 5: Přípravky pro kapilární zkoušku [10]

3.3.2 Použitelnost kapilární zkoušky [3, 16]

Pomocí této metody je možné zjišťovat pouze vady vystupující na povrch tak, že do nich penetrant může vniknout, nikoliv vady vnitřní.

Kapilární metodou je možné zkoušet kovové materiály (austenitické oceli, barevné a lehké kovy). Mohou být použity i pro kontrolu feromagnetických materiálů, ale zde je lepší volit magnetickou práškovou metodu. Dále je možné zkoušet nekovové materiály (plastické hmoty, glazovaná keramika a sklo). Kapilární metoda neumožňuje zkoušet pórovité materiály.

Kapilární metody se nejvíce uplatňují při kontrole plošných vad, jako jsou trhliny.

3.3.3 Dělení kapilárních metod [3]

Kapilární metody se dělí z hlediska vytvořené výsledné indikace na:

- Metoda barevné indikace - přítomnost vady se projeví jako kontrastní barevná indikace. Tyto indikace se hodnotí na umělém bílém světle.
- Metoda fluorescenční - přitomnost vady se projeví vznikem indikace, která v ultrafialovém záření světélkuje.
- Metoda dvojúčelová - přítomnost vady se projeví barevnou nebo fluorescenční indikací podle zvoleného druhu osvětlení.

3.3.4 Dělení kapilárních prostředků [2, 3, 4, 5]

Jako kapilární prostředky jsou považována činidla potřebná pro zkoušku kapilárními metodami a dělí se na penetranty, vývojky, čističe a emulgátory. Dohromady tvoří soubor a vždy by měly být dodávány pouze od jednoho výrobce.

Penetranty

Kapalina nanášená na povrch zkoušeného materiálu, vniká do necelistvostí na povrchu a setrvává po odstranění přebytečného množství. Penetranty se skládají ze směsí kapalných ropných produktů a organických rozpouštědel, výsledná směs je intenzivně obarvena na červeno nebo obsahuje luminosfór.

Obr. 6:Nanášení penetrantu [4]

Dělení penetrantů dle *indikace* na:

- penetranty barevné zajišťující výrazný barevný kontrast s bílou vývojkou
- penetranty fluorescenční světélkující při ozáření ultrafialovým zářením
- penetranty dvojúčelové obsahující luminosfór, který je také barvivem.

Dělení dle *smyvatelnosti* na:

- Nesmyvatelné - pouhý oplach vodou nestačí k odstranění penetrantu
- Smyvatelné - obsahují emulgátor umožňující odstranění vodou

Dělení dle *smyvatelnosti* a obsahu *emulgátoru* na:

- Penetranty emulgační - emulgátor je obsažen v penetrantu a je nanášen přímo při aplikaci penetrantu
- Penetranty postemulgační - emulgátor je nanášen na přebytek penetrantu až po době potřebné k penetraci. V necelistvosti je následně penetrant, který je neovlivněn emulgátorem.

Vývojky

Vývojka je činidlo které se nanáší na povrch po odstranění přebytku penetrantu a pomáhá vzlínání penetrantu z necelistvostí. Hlavní účel vývojky je zvýraznění indikace necelistvosti. Vývojka funguje podobně jako savý papír. Základ každé vývojky je práškovitá složka bílé barvy, jemného zrnění. Nejčastěji se používají látky oxid zinečnatý, oxid hořečnatý, uhličitan hořečnatý, uhličitan vápenatý, kaolin, mastek. Další složka vývojky je nosné prostředí, které může být vzduch, aceton, voda, líh a další.

Vývojky dělíme dle druhu prostředí na:

- Suché vývojky - nosné prostředí je vzduch nebo hnací plyn. Vývojka se na povrch naprašuje
- Mokré vývojky těkavé - práškovitá složka vývojky je rozptýlena v těkavém prostředí (aceton, benzin). Vývojka se na zkoušený povrch nanáší rozstřikem.

- Mokré vývojky vodné - práškovitá složka je rozmíchána ve vodě, obsahující navíc smáčedlo. Vývojky se většinou předehřívají až na teplotu 65°C a nanášejí se ponorem předmětu do lázně.

Emulgátory

Povrchově aktivní látky ulehčující rozptýlení pevných nebo kapalných látek v kapalině, do které se za normálních okolností nerozpouštějí.

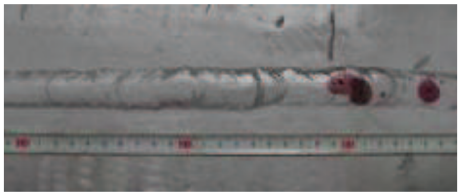
Emulgátory se dělí na dva základní druhy:

- Emulgátory lipofilní - rozpustné v tucích, nikoliv ve vodě. Za přítomnosti vody však vytvářejí emulzi s detekční kapalinou. Zbytky nejsou v odpadních vodách biologicky odbouratelné.
- Emulgátory hydrofilní - nerozpustné v detekční kapalině, ale ve vodě. Za přítomnosti penetrantu tvoří s vodou emulzi. Biologicky odbouratelné zbytky v odpadních vodách.

Odmašťovače a čističe

Odmašťovač je činidlo odstraňující tuk nebo olej ze zkoušeného povrchu před nanesením penetrantu. Jako odmašťovač může být použit benzin, aceton, chlorové rozpouštědlo, louh.

Čistič je kapalina sloužící k odstranění penetrantu z povrchu zkoušeného předmětu. Základem je anorganické rozpouštědlo kombinované s emulgátorem.



Obr. 7:Detail indikace na očištěném svaru [5]

3.3.5 Pracovní postup [2, 3, 6]

Kapilární zkouška se skládá z pěti hlavních kroků:

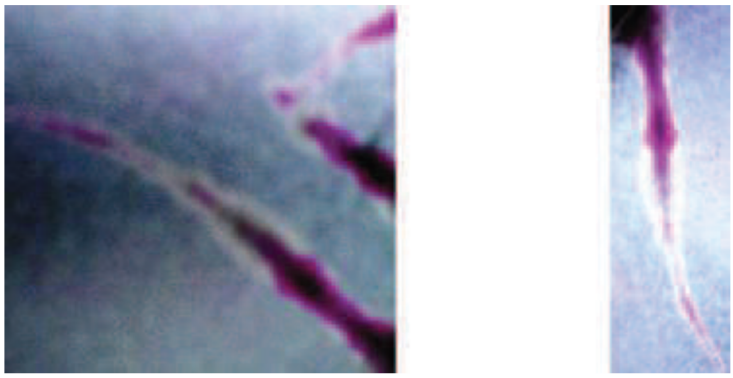
1. Příprava povrchu - odstranění nečistot, mastnoty. Nejčastěji se dává přednost chemickému čištění, protože mechanické nestačí nebo je riziko zanesení necelistvostí brusným prachem, mechanické uzavření necelistvostí.

2. Nanesení penetrantu - ponořením do lázně, nátěrem, nástřikem. Obecně platí, že čím menší vady mají být detekovány, tím delší je potřebná doba penetrace. V praxi se doba penetrace pohybuje mezi 5 až 20 minut. Během této doby nesmí kapalina zasychat a její vrstva musí být rovnoměrná po celém povrchu.

3. Odstranění přebytku penetrantu - mechanicky, rozpouštědly, emulgačně, postemulgačně.

4. Vyvolání – nanesení vývojky ručně nebo elektrostatickou pistolí.

5. Vyhodnocení výsledků zkoušky - nejnáročnější část na zkušenosti a fyzický stav pracovníka. Pracovník musí mít velmi dobrý zrak, aby určil sebemenší linie trhlinek a dostatek zkušeností, aby neoznačil za vadu usazený penetrant. Každý kus se kontroluje dvakrát za pomoci lupy o zvětšení 2-6x. Poprvé se kontroluje ihned po nanesení vývojky, podruhé po nějaké době, ve většině případů je postačující čas 15 minut. Hodnocení je velmi náročné na zrak a je nutno dodržovat stanovené přestávky.



Obr. 8:Detail indikací vad materiálu [6]

3.4 Zkouška magnetická

3.4.1 Princip metody [3, 16]

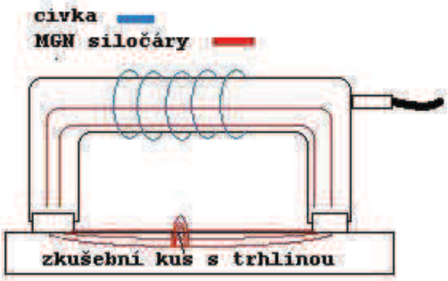
Provádění magnetické zkoušky se řídí dle ČSN EN 1290 a ČSN EN 1291. Princip zkoušky spočívá ve zmagnetování feromagnetického materiálu a tím odhalení vad nacházejících se na povrchu nebo těsně pod ním do vzdálenosti 2-3 mm. Zmagnetováním se v místě trhlin vytvoří magnetický rozptylový tok vystupující z materiálu nad jeho povrch a tento magnetický tok je možné lokalizovat magnetickým práškem, který může být rozptýlen ve vhodné kapalině - polévací zkouška, nebo suchý. V místě výstupu siločar z materiálu dojde k zachycení prachu a tím ke zviditelnění. V neporušených místech prach neulpí. V místě vystupujícího pole je prach přitahován a tvoří stopu ve tvaru obrysu trhliny. Pro lepší kontrast se často povrch tělesa natírá bílou barvou nebo se prach potírá fluorescenčním nátěrem, který světélkuje po ozáření ultrafialovým světlem. Výhoda této metody je rychlost, nízké náklady na zařízení, snadná obsluha. Nevýhodou je manipulace se znečištěnou kapalinou, možnost opálení povrchu při magnetizaci průchodem proudu a obtížná zjistitelnost oblých vad. Zkouška je použitelná pouze pro feromagnetický materiál.

3.4.2 Způsoby magnetizace [3, 8]

Pro vytvoření rozptylového pole v místě vady je nutno předmět zmagnetizovat a to nejlépe kolmo na směr jišťované vady. Vady rovnoběžné se směrem magnetického pole se nezjistí, protože nenarušují magnetické pole. Proto se využívá více způsobů magnetování:

Pólová magnetizace - tvorba magnetického toku v předmětu i mimo něj. Vznikají tak póly v místech vstupu a výstupu magnetických siločar. Předmět má po zmagnetizování své vlastní pole. Magnetizace je dosažitelná cívkou nebo pomocí magnetizačního jha.

Cirkulární magnetizace - vzniká přímým průchodem proudu tělesem (proudové zdroje dodávající proud 500 až 10 000 A), pomocným vodičem (proud procházející vodičem tvoří kruhové magnetické pole- pro duté kruhové předměty) nebo pomocí cirkulární magnetizace pro duté součásti. Magnetický tok je uzavřen ve zkoušeném předmětu. Nevznikají magnetické póly, ale předmět je po zkoušení zmagnetován. Navenek se magnetické pole nijak výrazně neprojevuje.



Obr. 9:Magnetizace cívkou [8]

3.4.3 Druhy prášků [2, 3, 16]

Nejčastějším detekčním materiálem při kontrole je feromagnetický prášek suchý nebo rozptýlený ve vhodné kapalině.

Prášky dělíme dle tvorby indikace a jejího hodnocení na:

Prášky barevné - černé, šedé, červenohnědé v závislosti na typu výroby a výchozím materiálu. Výchozí materiál pro výrobu je nejčastěji železo nebo jeho oxidy například oxid železitý.
Prášky fluorescenční - na povrchu feromagnetických zrn je nanesena luminescenční barva, která při ozáření ultrafialovým světlem září. Na povrchové vrstvě dochází k transformaci neviditelné vlnové délky světla na viditelnou.

Dále se dělí prášky dle nanášení na kontrolovaný povrch na:

- Suché prášky
- Olejové suspenze
- Vodní suspenze
- Magnetické barvy
- Polymerové prostředky

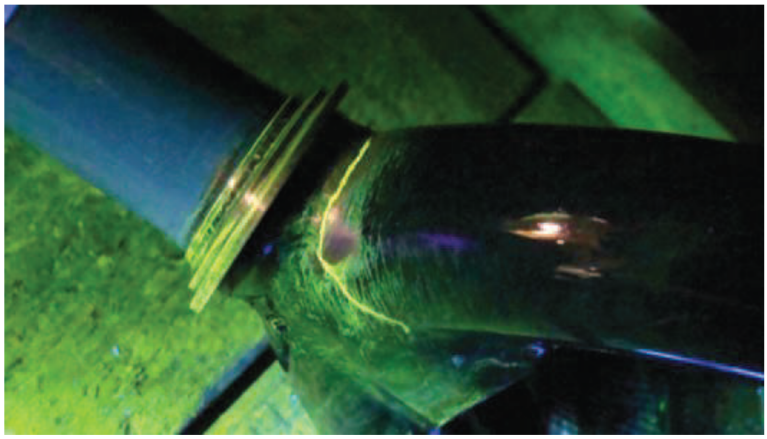
3.4.4 Postup zkoušky [3, 16]

Na kvalitě povrchu přímo závisí citlivost metody. Pro přesnou indikaci trhlin musí být kovový povrch dokonale čistý, bez rýh, nečistot a okují. Indikační prostředek musí být vůči povrchu kontrastní.
Zkušební postup se skládá z následujících hlavních operací:

- Úprava povrchu pro zkoušku
- Magnetizace kontrolovaného výrobku
- Vyvolání indikace (nanesení indikačního prostředku)
- Vyhodnocení indikací
- Odmagnetování

3.4.5 Vyhodnocení výsledků zkoušky [2, 3, 13, 16]

Vyhledání indikací, většinou hned po ukončení magnetizace a nanesení indikačního prostředku. Podmínky při inspekci jsou popsány normou a týkají se předepsaného osvětlení (nejméně 500 Lx) u detekčních prostředků bez luminoforů, nejvíce 20 Lx při detekci vad za použití prášku s luminofory a adaptace pracovníkova zraku (minimálně 5 minut) na zatemněný prostor. Následně se provádí interpretace indikací, rozhodnutí zda nalezené indikace jsou vady (přípustné, nepřípustné) či nikoliv (irelevantní indikace). Irelevantní indikace mohou vzniknout všude, kde se vyskytne rozptylový tok, který není nad necitlivostí. Důvody vzniku irelevantních indikací mohou být náhlá změna magnetických vlastností, změna průřezu, změna struktury materiálu, nečistoty na povrchu.



Obr. 10:Trhlina na vidlici kola [13]

3.4.6 Odmagnetování [3, 16]

Po ukončení zkoušky zůstává ve výrobku zbytková indukce a to pokaždé, využije-li se ke zmagnetování stejnosměrný proud nebo usměrněný střídavý proud. I při použití střídavého proudu zůstává v tělese zbytková magnetizace, protože závisí na čase ve kterém je střídavý proud vypnut. Zbytková magnetizace je nežádoucí z důvodů vzájemného přitahování drobných výrobků, zachycování mikroskopické feromagnetické nečistoty, drobných třísek, při následném svařování obloukovým svařováním je oblouk vytlačován ze svařovaného místa a svar nemusí být provařen například v kořeni svaru.

Odmagnetování lze provést:

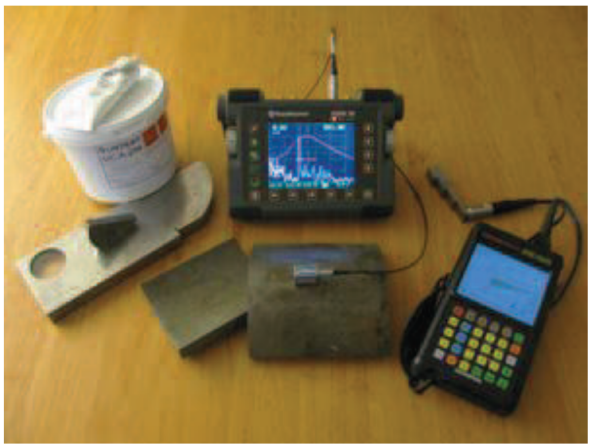
- Vnějším střídavým magnetickým polem s klesající amplitudou. Toto pole je generováno válcovou cívkou napájenou střídavým proudem. Poklesu magnetického pole se docílí snižováním amplitudy proudu k nule nebo projetím součásti skrze cívku s nastavenou velikostí střídavého pole.
- Ohřevem nad Curieovu teplotu, kdy materiál přechází z feromagnetického do paramagnetického stavu.
- Komutací - Přepínaním stejnosměrného proudu napájecího demagnetizační cívku, jehož hodnota se postupně snižuje až k nule.
  Magnetování polem opačné polarity než magnetické pole při provádění zkoušky. U tohoto způsobu nedojde k úplnému odmagnetování.

3.5 Metoda ultrazvuková

3.5.1 Princip ultrazvukové metody [3, 11, 16]

Zkoušení ultrazvukem je prováďeno dle normy ČSN EN 1714 a ČSN EN 1712. Základní princip spočívá v odrazu vlnění na rozhraní jednotlivých prostředí, které mají odlišné rychlosti šíření tohoto vlnění. Mechanické vlvění se šíří celým prostředím určitou rychlostí, která je závislá na druhu prostředí a frekvenci vlnění. V případě změny prostředí se změní také vlastnosti šíření vlny. Uvádí se, že se vlnění láme nebo odráží.

Tato metoda je tedy založena na principu odrazu a šíření akustických vln zkoušeným předmětem, reakcemi na změny v materiálu a jejich registrací. Tupé svary se zkoušejí z obou stran úhlovými sondami, přičemž sondou se pohybuje od a ke svaru ve tvaru písmene V.



Obr. 11:Zařízení pro kontrolu ultrazvukem [11]

3.5.2 Zdroje ultrazvukových impulsů [3]

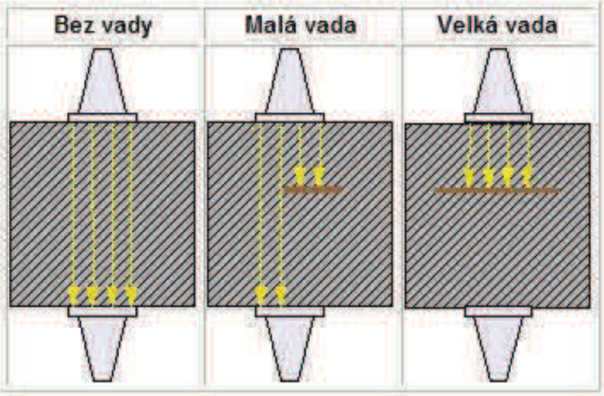
Zdroje impulsů jsou ultrazvukové zkušební sondy, které mají za základní prvek elektroakustický měnič. Tyto měniče převádí elektrické signály na mechanické. Dle signálu vysílaného a přijímaného se sondy dělí na přímé a úhlové. Jako ukazatel je využívána obrazovka, na jejímž displeji se zobrazují vysílané a přijímané impulsy. V okamžiku vysílání se na obrazovce objeví počáteční echo a koncové echo. Mezi nimi jsou dále případná echa poukazující na přítomnost defektu v kontrolovaném svaru.

Vzdálenost mezi počátečním a koncovým echem je přímo úměrná tloušťce základního materiálu.

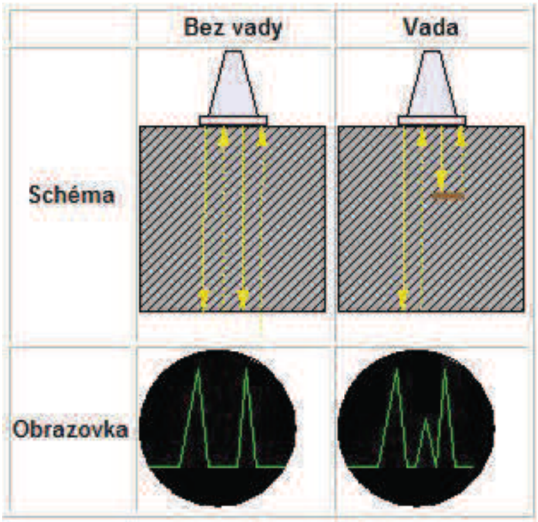
3.5.3 Metody zkoušení ultrazvukem [3, 16, 21]

Metoda průchodová
Vady v materiálu jsou překážkou a vytvoří se za nimi ultrazvukový stín (akustický tlak procházející vlny klesne). Na dva protilehlé povrchy se souose umístí vysílač a přijímač. Základ metody je měření ultrazvukové energie, která projde zkoušeným předmětem. Metoda je vhodná pro zkoušení materiálů menších tlouštěk s rovnoběžnými plochami přístupnými z obou stran. Nevýhoda metody spočívá v použití dvou odlišných sond umístěných souose.

Metoda odrazová – impulsová
Metoda je všestranně použitelná a nedává informace pouze o vadách, ale také o struktuře materiálu, jeho rozměrech. Princip spočívá ve vysílání krátkého ultrazvukového signálu, který se odráží od všech rozhraní a navrací se zpět do sondy, přičemž časový průběh je zobrazován. Generátor nabudí ultrazvukovou sondu a ta vyšle impuls a následně jej přijme. Vlna se odráží od povrchu a vad a vrací se zpět do sondy. Generátor je spouštěn synchronizátorem současně se zdrojem časové základny, která je přiváděna na horizontální vychylovací destičky obrazovky. Na vertikální systém je přiveden výstup zesilovače. Tato metoda udává informaci o vzdálenosti defektu v závislosti na zpoždění, se kterým se impuls vrátí do sondy. Výhoda metody spočívá ve vysílání a přijímání jednou sondou a tím možnost kontroly výrobků přístupných pouze z jedné strany.



Obr. 12: Metoda průchodová [21]



Obr. 13: Metoda odrazová [21]

3.5.4 Použitelnost ultrazvukové metody [3, 16]

Ultrazvukem jsou dobře zjistitelné vady plošné, které mají rovinu přibližně kolmou na směr šíření vln. Hůře jsou zjistitelné objemové vady jako bubliny, póry a plošné vady rovnoběžné se směrem vlnění. Nelze rozlišit, o jaký druh vady se jedná, je možné zjistit pouze její velikost a polohu. Výhoda této metody je téměř okamžitý výsledek, nízká cena zkušebního zařízení. Nevýhoda, jak již bylo zmíněno nemožnost určení druhu vady a nezaznamenávání výsledků kontroly.

3.6 Zkouška prozářením (RTG)

3.6.1 Princip metody [3, 21]

Zkouška je řízena dle normy ČSN EN 1435 a pro vyhodnocování radiogramů platí ČSN EN 12517 a ČSN EN ISO 5817. Princip spočívá v pohlcování ionizačního záření v kontrolovaném výrobku a z následného zviditelněného prošlého záření vhodným detektorem a stanovení míst, ve kterých se vyskytují vady. V místech vad je záření pohlcováno méně a na filmu se zobrazí tmavší skvrna. Rozeznatelnost metody se pohybuje mezi 1-2% prozařované tloušťky.

3.6.2 Použitelnost [3]

Prozařování může být prováděno přes jednu stěnu nebo přes dvě stěny, aby byla identifikace zkoušky zajištěna, musí být každá oblast předmětu označena značkami (písmena, číslice, symboly). Ostrost radiogramu je kontrolována měrkami. Metoda je použitelná pro rovinné tavné svary, kde se směr záření volí kolmý na plochu svaru. Obtížnější je zkoušení tupých svarů na příčných a nerovných plochách. U koutových a rohových svarů je nutné zvolit vhodný směr záření. Často je potřeba volit vyrovnávací klíny, které srovnávají prozařovanou tloušťku a jsou vyrobeny ze stejného materiálu jako zkoušený svar. Prozařování umožňuje zkoušet kusy tloušťky několik mm až stovky mm. Nejvhodnější je pro zjištění vad objemových (bubliny, póry, vměstky). Odraz vady zachovává tvar průmětu vady a je dobře zjistitelné o jakou vadu se jedná. Tato metoda je méně vhodná pro zjišťování plošných vad, jako jsou studené spoje a trhliny.

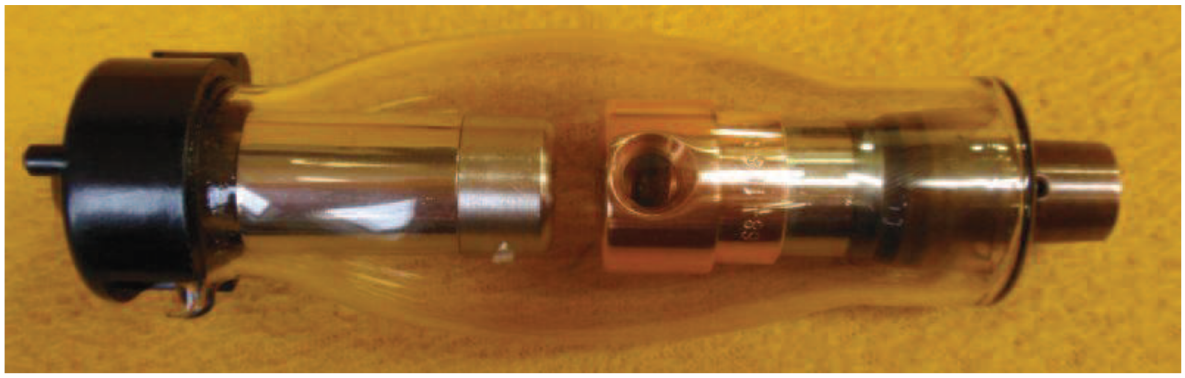
3.6.3 Druhy záření [3, 16, 17]

Záření X (rentgenové) - krátkovlnné fotonové záření, vznikající v elektronovém obalu atomu.

Vznik záření X - rentgenové záření vzniká když katoudou rentgenky emitované elektrony ztratí část své energie v oblasti atomů wolframového terčíku anody rentgenky. Tato část energie je vyzářena jako záření X a je tím větší, čím větší je dopadová rychlost elektronů.

Záření gama - krátkovlnné fotonové záření, vznikající většinou při přechodu atomového jádra z vyššího energetického stavu do stavu nižšího.

Vznik záření gama - narozdíl od rentgenového záření vzniká záření gama jako několik ostře definovaných jaderných procesů při rozpadu jader. Energie záření gama je zpravidlavyšší než energie rentgenového záření.



Obr. 14:Detail rentgenky [17]

Většina elektromagnetického záření se šíří přímočaře rychlostí světla, způsobují zčernání fotografické emulze a nedají se vychýlit magnetickým polem. Schopnost pronikání hmotou je závislá na jejich vlnové délce. Volba vhodného zářiče závisí na tloušťce a druhu materiálu kontrolovaného výrobku.

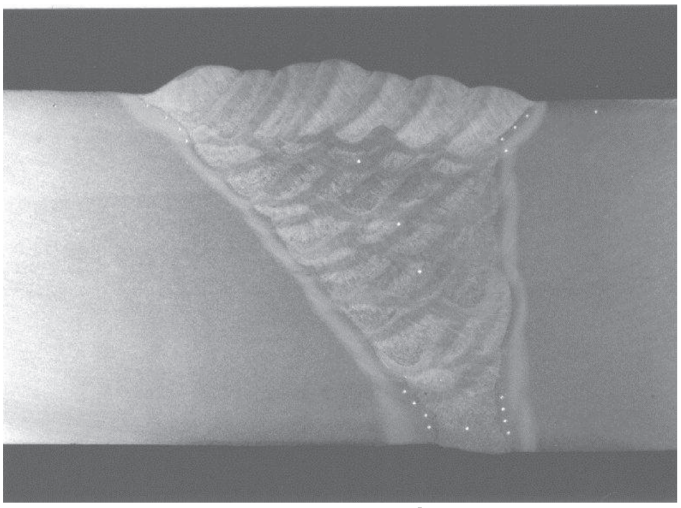
3.6.4 Radiografický film [3, 19]

Detekce záření je umožněna díky reakci fotonů s detekční látkou filmu díky ionizačním účinkům fotonu.
Radiografické filmy se dělí na následující dvě skupiny dle dějů v použitých detektorech:

- **Ionizační** - rentgenový film
- **Luminiscenční** - například fluorescenční fólie

Rentgenový film se skládá z *nosné podložky*, *oboustranné emulzní vrstvy* a *oboustranné ochranné vrstvy*. Jako nosná podložka je využívána polyetylenová fólie, dále se na ní nanese vrstva emulze podobná želatině, která zařídí kontakt mezi dále nanášenými zrny bromidu stříbrného a roztoky chemikálií, které působí na tyto zrna. Dále je film pokryt ochrannou *fólií*. Při zásahu citlivé vrstvy zářením vzniknou v této vrstvě malé zárodky kovového stříbra. Dalším zpracováním (vyvoláním) se tento výsledek zvýší o několik řádů.

Dále se film vkládá mezi fólie (kovové, fluorescenční, fluorometalické), které působí jako filtr záření a zároveň zvyšují výsledný kontrast. Kromě tohoto účinku fólie také zesilují záření. Kovové fólie vlivem ionizujícího záření produkuje takzvané sekundární elektrony, které taktéž působí na emulzní vrstvu. Jako materiály fólií se používá olovo pro kovové fólie, wolframan vápenatý pro fluorescenční fólie, které působením ionizujícího záření vydávají světlo a to dále působí na emulzní vrstvu a tím zvyšuje zčernání. Fluorometalické fólie představují kombinaci mezi kovovými a fluorescenčními fóliemi.



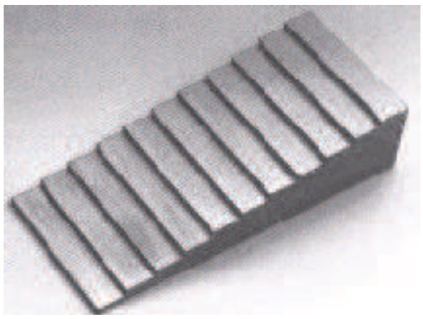
Obr. 15: Detail radiografického filmu [19]

3.6.5 Radiografické měrky [3, 7, 9, 16]

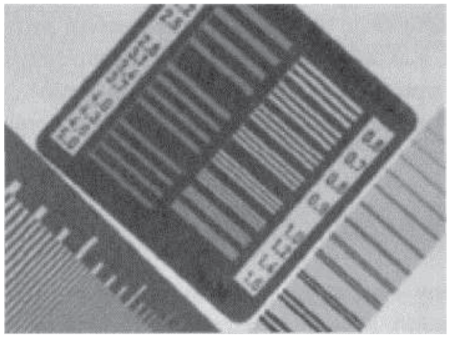
Radiogram musí být zhotoven za dodržení určitých podmínek uvedených v předpisech pro prozařování. Jedna z nich je kontrola citlivosti, ke které se používají radiografické měrky. Obraz radiografické měrky pouze dokumentuje dodržení podmínek prozařování.

Měrky se dělí na tři nejpoužívanější typy:

- **Stupňová měrka** – měrka ve tvaru stupínků po 0,25mm. Tloušťka rozlišitelného stupně na radiogramu v závislosti na prozařované tloušťce udává citlivost metody na změnu tloušťky.
- **Otvorová měrka** - skládá se z destiček jednotné tloušťky a otvorů stejného průměru nebo různého. Z viditelných obrysů měrky lze posuzovat tloušťková citlivost a z viditelnosti otvrou citlivost otvorová (otvory v měrce o různých průměrech- násobky tloušťky).
- **Drátkové radiografické měrky** - řada paralelně umístěných drátků různého průměru. Pro rovnoměrné odstupňování zkušební citlivosti se používá norma DIN 54109 (7 drátků) nebo ASTM E-747 (6 drátků). Pro drátkové měrky u nás je platná norma ČSN EN 462-1. Zjistitelnost drátků je na radiogramu vyšší než zjistitelnost destiček nebo otvorů stejné tloušťky nebo průměrů.



Obr. 16: Stupňovitá radiografická měrka [9]



Obr. 17: Drátková měrka [7]

3.6.6 Vyvolávání [3, 16]

Emulzní vrstva filmu je tvořena jednotlivými zrny bromidu stříbrného, která se v případě zásahu zářením stanou po vyvolání pro lidské oko *viditelná* (černá). Před vyvoláním není na filmu viditelné nic, pouze latentní obraz vytvořený zářením. Zviditelnění zařídí až následné zpracování, které přemění bromid stříbrný na kovové stříbro nepropustné pro světlo.

Vyvolávání obsahuje následující procesy:

1. Vývojka - kombinace chemikálií, která obsahuje akcelerátor a redukční prostředek. Akcelerátor odstraní ochrannou vrstvu a vytvoří zásaditý roztok vývojky, redukční prostředek (metol, hydrovhinon) následně zredukuje bromid stříbrný na stříbro, přičemž je rozlišeno ozářené a neozářené zrno. Po dlouhé době vystavení lázni se začínají redukovat i zrna neozářená. Přesný čas ponoru a teplotu lázně stanovuje výrobce.

2. Přerušovací lázeň - přerušovací lázeň (nejčastěji voda s několika kapkami octa) má za úkol zastavit reakci vývojky neutralizací a odstranit tyto chemikálie před ustalováním.

3. Ustalování - ustalovač má za následek fixaci obrazu v želatině filmu. Neosvětlená zrna zrna bromidu stříbrného jsou ustalovačem rozpuštěna a film se v těchto místech stává průhledným- funkce zprůhlednění. Dále ustalovač vytvrdí želatinovou vrstvu a tím ji chrání před poškozením při dalších operacích.

4. Praní- děj čištění v tekoucí vodě. Po praní často následuje oplach k odstranění skvrn od nečisté vody pod proudem vody s přídavkem smáčedla (například jar).

3.6.7 Vyhodnocení radiogramů [3]

Vyhodnocení radiogramů se skládá z prohlídky radiogramu, která ma objasnit zda byl radiogram zhotoven tak, že jeho vyhodnocení je možné nebo není, výkladu indikací, který určí typy vad a jejich přípustnost, klasifikace určující velikost, polohu, četnost indikací a posouzení určující zda bylo překročeno mezních hodnot.

Pro kontrolu radiogramu se využívá přistroje zvaného negatoskop, který má regulovatelný zdroj nejlépe bílého světla a požadavky na něj jsou uvedeny v normě ČSN EN 25 580. Pozorovatel by měl prohlížet radiogramy nejlépe ze vzdálenosti 30 cm kolmo na rovinu filmu. Hodnotitel radiogramu musí mít radiografický certifikát stupně 2.

Předpokladem je dostatečná zkušenost a vyhovující zrakové schopnosti (nejméně 1x ročně přezkušovány)

Obr. 18: Negatoskop [15]

Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na popis základních principů nedestruktivních metod kontroly svarových spojů. V porovnání s destruktivními metodami mají výhodu v následném neomezení funkčnosti kontrolovaného kusu. Technologie kontroly má bohaté zastoupení nejen v kontrole svarových spojů, ale naprosto ve všech oborech strojírenství. Díky stále rostoucímu zájmu zákazníků o kvalitu nabízených výrobků má technologie kontroly obrovské uplatnění a možnost neustálého rozvoje.

Úvodní část bakalářské práce je zaměřena na historii svařování od vzniku prvního svaru nejjednodušší metodou až po současnost, kdy je k vytvoření svarového spoje použito speciálních metod. Úvodní část také popisuje vznik svarového spoje.

Hlavní část bakalářské práce je zaměřena na popis vad svarových spojů, důvod jejich vzniku, rozdělení typů kontroly svarových spojů a popis aktuálních nedestruktivních metod kontroly svarových spojů, jejich základního principu, použitelnosti, výhod, nevýhod, potřebných znalostí a nároků kladených na pracovníka k provedení kontroly. Nejjednodušší na provedení je zkouška vizuální díky tomu, že hlavní nástroj potřebný ke kontrole má člověk stále u sebe. Oproti tomu na provedení je nejnáročnější zkouška prozařováním (RTG), kvůli potřebnému vybavení, době expozice a době vyvolávání radiografického filmu.

Práce je koncipována jako úvodní studie pro další navazující studium. Každá obsažená část může být dále rozšiřována a je možné více proniknout do problematiky jednotlivých metod.

Seznam použité literatury:

1. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009, 486 s. ISBN 978-80-227-3167-6.

2. KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.

3. KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (Nauka o materiálu IV)*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 571 s. ISBN 978-80-7204-591-4.

4. Gamalux. *Gamalux* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.gamalux.cz/cz/uvod/

5. Kapilární zkouška. *Gamma* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.instytutgamma.com.pl/penetrantcze.html

6. Kapilární zkoušky. *QP GmbH* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.qpgmbh.de/index.php?id=44&L=3

7. Měrky. *Energoservis: defektoskopie.cz* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.defektoskopie.cz/produkty/rtg-kontrola/prislusensvi-pro-rtg/merky-a-meridla/

8. MT – zkouška magnetickou metodou práškovou. *Atesta* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z:http://www.atesta.cz/cz_5_03.htm

9. NDT radiography. *Computerised information technology* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.cituk-online.com/acatalog/NDT_Peripherals_Accessories.html

10. NDT zkoušení. *TEDIKO* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0208cz

11. NDT zkoušení. *TEDIKO* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.tediko.cz/index.php?sub=02cz&lang=cz&p=0202cz

12. NEDEŠTRUKTÍVNA KONTROLA. *NT New Technologies* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.ndt-nt.cz/eshop-produkt/nedestruktivna_kontrola/54/sk

13. Nedestruktivní kontrola materiálu. *TTB-BIKE* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.tbb-bike.cz/articles/nedestruktivni-kontrola-materialu-jak-objevit-prasklinu-na-ramu-vidlici-ci-riditkach/1920

14. Nedestruktivní zkoušení. *Tlakinfo.cz* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1240

15. Negatoskopy. *V.M.K* [online]. [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: http://www.vmk-rtg.cz/negatoskopy-ella.htm

16. Podklady. *ČVUT* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf

17. Sbírka rentgenek. *Danyk* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://danyk.cz/rtg_sb.html

18. Sloup v Dillí. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Sloup_v_Dill%C3%AD

19. Technologie. *Ljinfo* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://ljinfo.blogspot.cz/

20. Vizuální kontrola svarů. *Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008021901

21. Zkouška ultrazvukem. *Strojírenství* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://strojirenstvi-stredni-skola.blogspot.cz/2011/03/3342-zkouska-ultrazvukem.html