

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



**Zajištění jakosti procesu svařování radiografickými zkouškami podle ISO a
ASME BPVC norem**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Autor práce: Michal Němeček

PRAHA 2016

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Michal Němeček

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Zajištění jakosti procesu svařování radiografickými zkouškami podle ISO a ASME BPVC norem

Název anglicky

Ensuring quality of welding process by radiographic testing according to ISO and ASME BPVC standards

Cíle práce

Cílem diplomové práce je vyhodnocení kvality svarových spojů. Mezi dílčí cíle diplomové práce patří provedení literární rešerše, na jejímž základě bude stanovena následná experimentální část diplomové práce. Student zpracuje informace o problematice hodnocení kvality svarových spojů pomocí radiografickými zkouškami a vyvodí možnosti a limity při současném přihlednutí ke všem aspektům spojeným s danou problematikou v praxi. Těchto poznatků využije při plánování a následném provedení laboratorních experimentů s důrazem na přínos pro technickou praxi v oblasti svařování.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše).

Cíle práce a metody jejího vypracování.

Řešení podstaty dané problematiky.

Přínos a závěry práce.

Doporučený rozsah práce

cca. 60 stran

Klíčová slova

Svařování, mechanické zkoušky, základní materiál

Doporučené zdroje informací

- BLONDEAU, R.: Metallurgy and mechanics of welding : processes and industrial applications, London : Hoboken : ISTE ; 2008.
- HRIVŇÁK, I.: Theory of Weldability of Metals and Alloys. Amsterdam, 1992.
- KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T.: Svařování. Ostrava, V3B, 2005.
- KOVAŘÍK, R., ČERNÝ, F.: Technologie svařování, Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2008.
- LANCASTER, J., F.: Metallurgy of welding. Cambridge, 1999.
- MINAŘÍK, V.: Obloukové svařování, Praha : Scientia, 2003.
- Repair and Maintenance Welding Handbook. ESAB AB, 2006.
- ZEZULKA, L.: Svařování : základní informace a povinnosti svářečů při svařování kovů, Šumperk : Sates, 2003.
- ZHANG, H.: Resistance welding : fundamentals and applications, Boca Raton : CRC Press, 2012.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

Bc. Ing. Petr Hrabě, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 4. 5. 2015

doc. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 6. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Hraběte, Ph.D. a uvedl všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 2.3.2016

.....

Podpis

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Hraběti, Ph.D. za cenné rady, ochotu a vstřícný přístup při psaní této práce.

Zajištění jakosti procesu svařování radiografickými zkouškami podle ISO a ASME BPVC norem

Abstrakt:

Na kvalitě svarového spoje se podílí mnoho faktorů a ve svarovém kovu tak vznikají vady, které by zejména u tlakových nádob mohly být nebezpečné. Cílem této práce je zaměřit se na kontrolu svarových spojů nedestructivními zkouškami, hlavně pak radiografickou metodou. V celosvětovém měřítku se svary kontrolují různými způsoby a podle jiných kritérií přípustnosti. Práce se zabývá porovnáním, analýzou přístupu a kritérii hodnocení svarových spojů metodou RT podle norem ISO a ASME BPVC.

Řešením problematiky shody operátorů hodnotící radiografické snímky podle EN ISO 10675-1 se sleduje, zda vyhodnocení svarových spojů bude akceptovatelné a jestli případné nekvalitní radiogramy budou relevantní a vypovídající pro svarové spoje.

Klíčová slova: Svařování, mechanické zkoušky, základní materiál

Ensuring the quality of the welding process radiographic testing according to ISO and ASME BPVC standards

Abstract:

The quality of welded joints are many factors involved in the weld metal and thus creating defects that would particularly for pressure vessels could be dangerous. The aim of this work is to focus on control of welded joints non-destructive tests, especially the radiographic method. Globally welds checked in different ways and according to different criteria for admissibility. Work deals with comparing, analyzing the approach and criteria for evaluation of welds using RT according to ISO and ASME BPVC.

Solution to the issue of compliance of operators evaluating radiographs according to EN ISO 10675-1 is monitored whether the evaluation of welded joints is acceptable and whether any poor-quality radiographs are relevant and meaningful for welded joints.

Keywords: welding, mechanical tests, the basic material

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíl práce a metodika	3
3. NDT	4
3.1 Klasifikace metod.....	5
4. Metody NDT používané pro kontrolu svarů	5
4.1 Vizuální metoda	6
4.2 Kapilární metoda	8
4.3 Metoda magnetická prášková.....	9
4.4 Metoda ultrazvuková.....	11
4.5 Metoda vířivých proudů	12
4.6 Prozařovací metoda	13
5. Metoda RT – Radiografie.....	13
5.1 Základy fyziky záření.....	14
5.1.1 Záření gama	15
5.1.2 Rentgenové záření (záření X).....	15
5.2 Teorie radiografického kontrastu	16
5.2.1 Předmětný kontrast	17
5.2.2 Primární a rozptýlené záření.....	17
5.2.3 Interakce ionizujícího záření s hmotou.....	18
5.2.4 Zeslabení.....	18
5.2.5 Polotloušťka.....	20
5.2.6 Výběr nejvhodnější energie záření	21
5.2.7 Vzdálostový faktor – B	21
5.2.8 Radiografický kontrast	23
5.3 Geometrické podmínky prozařování	24
5.3.1 Geometrická neostrost	24
5.4 Kvalita radiogramu.....	26
5.4.1 Radiografický film.....	26
5.5 Zjistitelnost vad na radiogramu	27
5.6 Radiografické měrky	28
5.7 Umístění měrek na zkoumaném předmětu.....	29
5.8 Metody prozařování	30
5.9 Vyhodnocení RT radiogramů.....	31

5.9.1	Hodnocení.....	32
6.	Praktická část - Porovnání ISO a ASME norem pro hodnocení jakosti svarových spojů.....	33
6.1	Hodnocení podle normy EN ISO 10675 – 1	34
6.2	Hodnocení podle normy ASME BPVC VIII.1.....	37
6.3	Porovnání obou postupů vyhodnocení	40
6.4	Porovnání vyhodnocení jednotlivých typů vad podle ISO 10675 – 1 a ASME BPVC VIII.1.....	46
7.	Vyhodnocení statického souboru radiogramů podle EN ISO 10675-1 více operátory.	49
8.	Analýza výsledků	51
	Závěr.....	59
	Použitá literatura.....	61
	Seznam obrázků	64
	Seznam tabulek.....	65
	Seznam grafů	66
	Příloha č. 1	67

1. Úvod

Téma diplomové práce zabývající se kontrolou svarových spojů nedestruktivními zkouškami jsem si vybral z toho důvodu, protože jsem chtěl hlouběji poznat jednotlivé metody NDT zvláště pak radiografickou metodu.

Proč je svařování spjata s NDT? Je to dáno třemi základními úvahami.

1. Co je to svařování?
2. Svařování není tak jednoduchý proces, proto by výrobek mohl být nebezpečný.
3. Existují jisté metody, které svarový spoj mohou zkontrolovat a mezi nejdůležitější z nich patří NDT.

Svařování je nejrozšířenější způsob ve spojování materiálu v jeden celek a je technologicky nejrozvinutější. Svařování se rozděluje na několik různých metod. Vzhledem k tomu, že se svařování používá ve většině případů k výrobě nosných konstrukcí přenášející zatížení. To znamená, že je velice důležité dodržet určitou jakost svarového spoje. Proto existují tzv. nezávislé, státem definované požadavky. Firma, která chce být konkurenceschopná, musí dodržovat předpisy a nařízení definované státem týkající se především bezpečnosti výrobků a současně podnik musí zajistit uspokojení všech požadavků zákazníka. Proto je z tohoto důvodu důležité zvolit neoptimálnější metodu a postup svařování vedoucí k určité kvalitě svaru zajištěnou formou nedestruktivních zkoušek a dalších inspekčních metod. Použité metody svařování mají vliv na produktivitu a tím také na výrobní náklady.

Svařovací proces je označován jako zvláštní proces, protože nelze u hotového výrobku zkontrolovat, zda byly dodrženy požadavky dané předpisy a normami. Kvalita svarového spoje je kontrolována již ve výrobním procesu, při montáži, ale i v průběhu celé životnosti daného stroje. Jedním z požadavků systému managementu kvality (ISO 9000) je norma ČSN EN ISO 3834, která zabezpečuje jakost svarů v souladu se specifickými kritérii.

Svařované konstrukce musí být navrženy a provedeny tak, aby mohly být užívány po dobu předpokládané životnosti. Na trh se mohou dostat pouze takové výrobky splňující shodu jejich vlastností s požadavky na bezpečnost. Požadavek na jakost je dán konstruktérem, který navrhuje zařízení určené k specifické činnosti a způsobu namáhání a přihlednutím k požadavkům zákazníka. Dosažení jakosti se uvádí v dokumentaci. Takto stanovený

požadavek na jakost výrobku je relevantní pro prováděnou kontrolu a hodnocení kvality svarového spoje.

Vzhledem k tomu, že zejména lidský faktor a svařovací proces mají významný vliv na kvalitu výsledného spoje, je velmi důležité svarové spoje kontrolovat. Proto byly zavedená jistá řídicí dokumentace v podobě předpisů a norem, stanovující kritéria pro provádění svarového spoje, ale i zkoušení svářečů. Pro Evropu a celosvětově (ISO) existují normy například EN 3834, Americké AWS D1.1 a další ASME sekce 9, API 510, 653, 570.

2. Cíl práce a metodika

Cílem této práce je řešení problematiky shody operátorů hodnotící radiografické snímky a zjistit, jaký vliv má na hodnocení operátorů kvalita radiogramu. Zadáání práce se zakládá na porovnání a vyhodnocení statického souboru radiogramů podle EN ISO 10675-1 více operátory. Cílem je zjistit, jak se jednotliví operátoři, kteří se ucházeli o kvalifikaci rentgenového zkoušení mezi sebou lišili. Práce naráží na současný řešený problém vzniklý v jaderné elektrárně. Problém tkví v opětovném prověření svarových spojů z důvodu, že při prověrce dokumentace byly zjištěny jejich nekvalitní radiografické snímky. Přezkoumání provádí několik organizací najednou. Odstávkou jaderných bloků vzniká firmě, která elektrárnu provozuje obrovská finanční ztráta.

Druhým cílem práce je porovnat přístup a kritéria přípustnosti pro metodu radiografické zkoušky podle ISO a ASME BPVC norem.

Říci o daném svaru bez reálného vzorku pouze na základě jeho radiogramu s dobrou kvalitou, jestli je kvalitní, musejí se hodnotitelé shodovat. Procentuální shodnost je v určité toleranci. Míra odchylky mezi organizacemi, které pracují na jednom projektu, je velmi důležitá v závislosti na přijatelný výsledek.

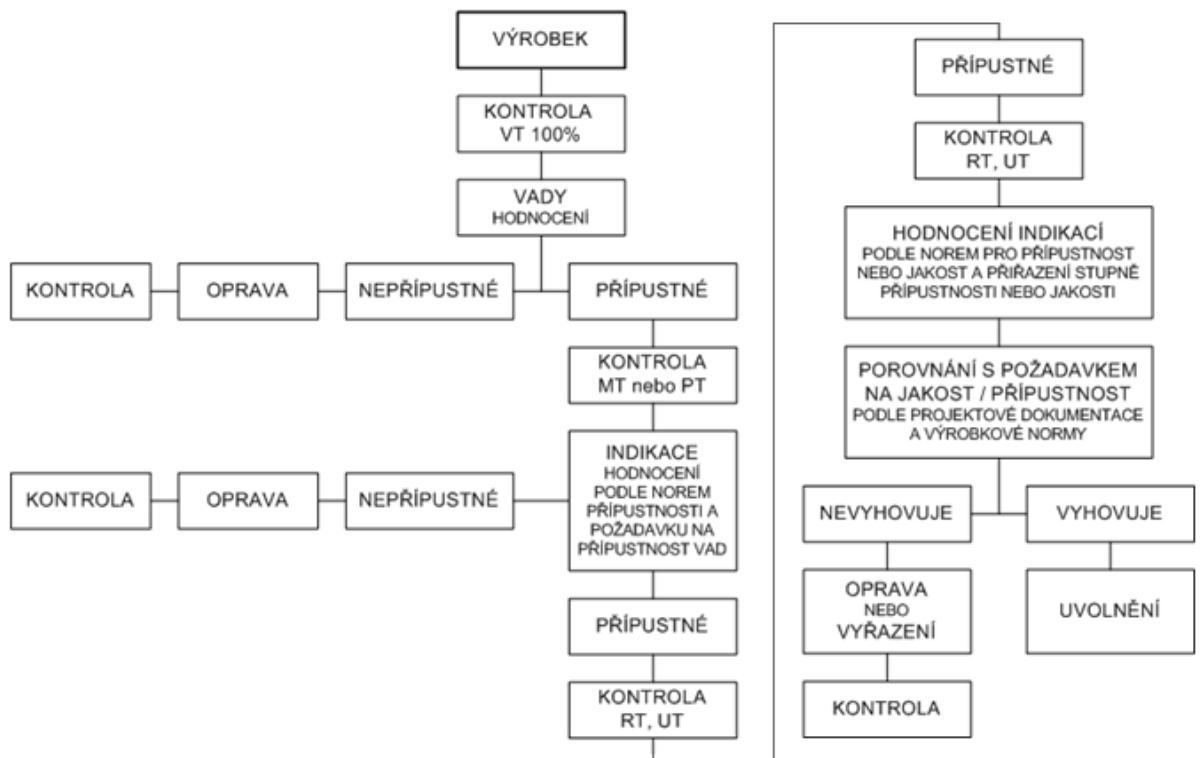
Metodika práce bude založena na porovnání operátorů, kteří se ve firmě ucházeli o kvalifikaci radiografického technika ve stupni II. a autorem práce. Počet operátorů je dán archivem uchazečů za rok 2014 a 2015. Vyhodnocení bude probíhat na setech radiogramů, které firma vlastní a používá je pro školící účely. Metodika porovnání obou norem spočívá ve vysvětlení přístupu norem k jednotlivým indikacím. Porovnání bude provedeno na názorných příkladech. V první části práce budou zpracovány teoretické podklady pro pochopení problematiky nedestruktivního zkoušení na svarových spojích. Teoretická část se bude dále zabývat principy ostatních nedestruktivních metod a zejména pak radiografické metody.

3. NDT

Zkratka NDT znamená anglicky „non – destructive – testing“. Nedestruktivní také jako defektoskopická zkoušení znamená širokou oblast zkoušek materiálů nebo výrobků bez jejich porušení. Jsou významným ukazatelem jakosti výrobku. Stanovují výskyt skrytých povrchových i vnitřních vad porušující celistvost svaru, které slouží k ověření úspěšného dokončení speciálního procesu. Proto, aby byly svařované součásti z pohledu namáhání bezpečné, spolehlivé a v požadované životnosti, musí být konstrukce svařena v určité jakosti. Jakost je dána vyloučením vad vyskytujících se ve svarovém spoji, které se posuzují u konkrétní součásti četností výskytu či jejich velikostí.

Z tohoto záměru je zapotřebí jistá znalost parametrů zjištěných vad, které mohou stanovit jednotlivé inspekční procesy, mezi něž patří i defektoskopické zkoušky. Závěry z NDT mají významný vliv na technologické postupy výroby z pohledu odstranění nedostatků a snížení příčin výskytu vad, které se mohou účelně odstranit vhodným nápravným opatřením ve výrobě. Nedestruktivní zkoušky v dnešní době již neodnímatelně součástí výrobního procesu viz obrázek č. 1. [1], [2], [3].

Obr. č. 1 Schéma postupu NDT zkoušení tlakové nádoby



Zdroj: [8]

3.1 Klasifikace metod

Při volbě defektoskopické metody je třeba vycházet z řady faktorů (fyzikální, mechanické principy, okolní prostředí, přístup k objektu aj). Cílem nedestruktivních metod je nejen zjištění nepřipustných vad, ale zároveň i stanovení typu a rozměrů vad a jejich umístění. Tudiž zjistit stav, jestli produkt odpovídá určitým požadavkům a nařízením. Jestliže nesplňuje nároky, může být následně označen jako zmetek, opraven nebo z hlediska jeho ceny ponechán pro provoz se sníženými provozními parametry.

Existují různé metody NDT, které mohou nalézt různé vady v různých místech svařovaných součástí. Vady lze dělit podle následujících kategorií (viz norma ČSN EN ISO 6520 – 1) a na to navazují metody, které jsou schopny tyto vady nalézt.

Vady podle umístění:

- vady povrchové
- vady vnitřní respektive podpovrchové

Vady podle charakteru:

- vady objemové (póry, staženiny, pevné vměstky)
- vady plošné (trhliny, studené spoje)

Neexistuje žádný univerzální fyzikální způsob, který by mohl v oblasti NDT detekovat veškeré druhy vad. Proto je často potřeba několik defektoskopických zkoušek kombinovat. [2], [3].

4. Metody NDT používané pro kontrolu svarů

Teoreticky lze pro svarové spoje použít všechny metody, ale prakticky se používají konvenční metody, jako jsou – VT, PT, MT, RT, UT. V tabulce č. 1 jsou znázorněny nejčastěji používané metody kontroly v oblasti nedestruktivního zkoušení.

Tab. č. 1 Nejčastěji používané metody v defektoskopii

Symbol	Název metody	Schopnost detekovat vady				Vhodnost pro danou technologii					
		Povrchové	Vnitřní	Objemové	Plošné	Svary	Odlitky	Výkovky	Obrobky	Vývalky	Koroze
VT	Vizuální kontrola (Visual Testing)	●	...	●	●	✓	✓	✓	✓	✓	✓
PT	Kapilární metoda ¹⁾ (Penetrant Testing)	●	...	●	●	✓	✓	✓	✓	--	--
MT	Magnetická metoda prášková ²⁾ (Magnetic Particle Testing)	●	○	●	●	✓	✓	✓	✓	--	--
RT	Radiografická metoda (Radiographic Testing)	◐	●	●	◐	✓	✓	--	--	--	✓
UT	Ultrazvuková metoda (Ultrasonic Testing)	◐	●	●	●	✓	✓	✓	--	✓	--
ET	Metoda vířivých proudů ³⁾ (Eddy Current Testing)	●	○	●	●	✓	--	✓	✓	✓	--
LT	Zkoušení netěsností (Leakage Testing)	Metoda je vhodná pro detekci vad, procházejících skrze celou tloušťku stěny (plošné i objemové). Detekován je únik médií z daného prostoru.									
Vhodnost pro detekci: ● = vysoká ◐ = střední ○ = nízká ... = nulová ¹⁾ Základním požadavkem pro realizaci kontroly je suchý a čistý povrch ²⁾ Metoda je vhodná jen pro feromagnetické materiály ³⁾ Metoda je vhodná jen pro vodivé materiály											

Zdroj: [4]

Ze seznamu je patrné, že pro kontrolu určitého výrobku se používá kombinace metod schopná nalézt a vyhodnotit nebezpečné vady. V případě svarového spoje se jako prvotní způsob nejčastěji používá metoda vizuální. [4].

4.1 Vizuální metoda

K defektoskopickému kontrolování svarů se používá jako nejjednodušší metoda vizuální kontrola. Touto metodou se hledají povrchové vady. Ta má cíl zjistit nepřipustné nerovnoměrnosti nebo makroskopické vady pozorovatelné lidským okem, jako jsou často: převýšení svaru (obrázek č. 2), trhliny, zápaly, povrchové zápaly, póry, či kráterové staženiny. Postupuje se dle normy ČSN EN ISO 17637.

Většinou vizuální zkouška předchází z hlediska ekonomického dalším nedestruktivním zkouškám. Dle použitého kontrolního prostředku dělíme prohlídku na přímou a nepřímou kontrolu. Požadavky na způsob kontroly jsou podrobně popsány v ČSN EN ISO 17637.

Vizuální kontrola se také používá jako následná kontrola po dokončení svaru a zjišťování odstranění strusky, rozstříku atd. Zkoumá se i shodnost svaru s výkresovou dokumentací. [2], [6], [7], [8].

Vizuální kontrola jako jediná NDT metoda dokáže odhalit reálné vady a pracovat s nimi. Všechny ostatní metody zkoumají pouze indikace vad.

Výhodou metody je hodnocení kvalitativní úrovně vytvořené housenky.

Výhody:

Přímá a rychlá metoda

Materiálově nenáročná

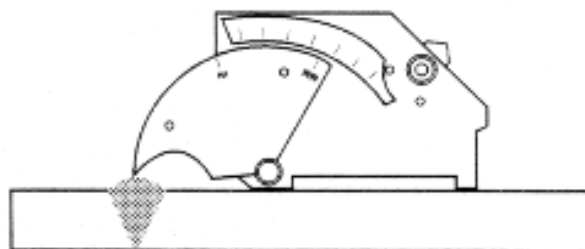
Zaškolení pracovníků

Nevýhody:

Hodnocení pouze povrchových vad

Nutné osvětlení zkoumaného místa

Obr. č. 2 Měření převýšení svarové housenky

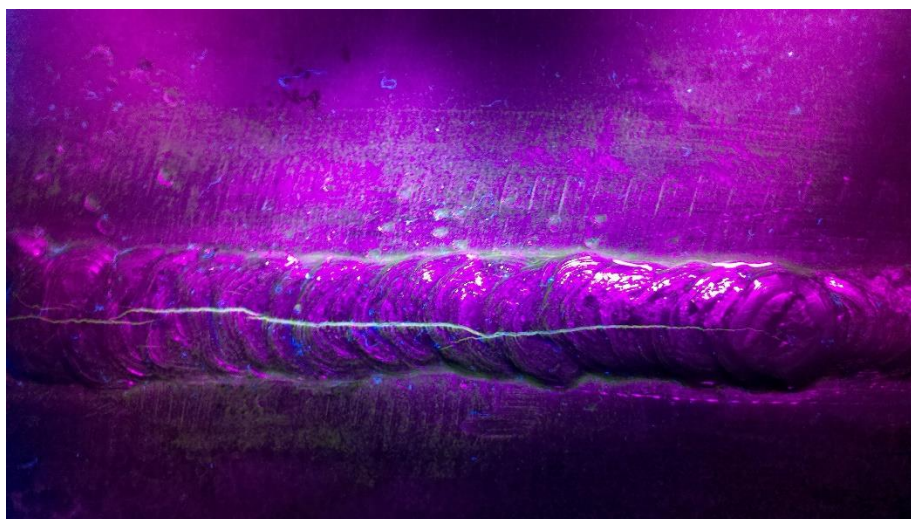


Zdroj: [8]

4.2 Kapilární metoda

Penetrační neboli kapilární zkoušky je jednou z nejpoužívanějších metod NDT. Spočívají v kontrole povrchových vad, detekují se vady na povrchu otevřené. Kontrola vnitřních (uzavřených) vad touto metodou nelze provést. Kapilární zkouška zjišťuje indikace vad, jako jsou trhliny (obrázek č. 3), studené spoje, póry apod., do kterých dokáže vniknout vlivem kapilárních sil pronikající tekutina tzv. penetrant (barevný nebo fluorescenční). [2], [6]

Obr. č. 3 Trhlina ve svarovém spoji

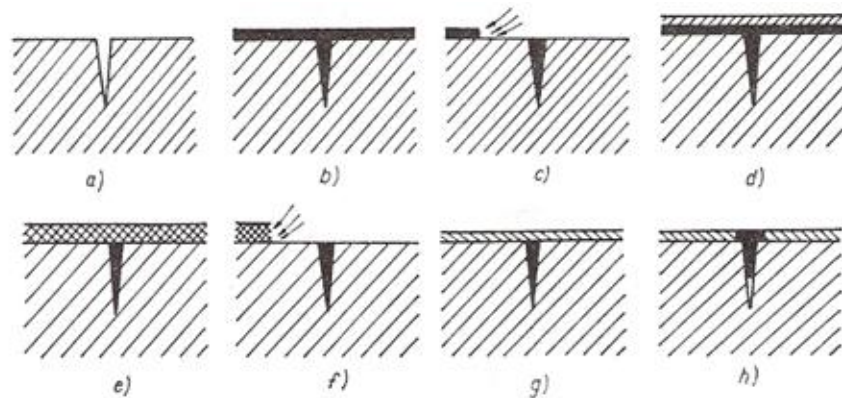


Zdroj: [10]

Princip zkoušky je znázorněn na obrázku č. 4 (a – h) a postupuje se podle ČSN EN ISO 12706. V prvním případě je zapotřebí svařenec očistit, odmastit a osušit (a). Dalším krokem je nanesení penetrantu na předmět. Podle velikosti svařence se nanesení volí buďto ponorem v nádobě, nátěrem nebo nejčastěji nástřikem. Detekční tekutina se nechá 5 až 30 minut působit (b). Přebytečná tekutina se z povrchu odstraní pomocí proudem vody (c) při použití emulgátoru (d) vznikne tak spolu s penetrantem lehce omyvatelná vrstva (e). Musí se brát na vědomí, že nesmí dojít k odstranění penetrantu z necelistvostí, avšak detekční tekutinu je nutné řádně odstranit z důvodu ovlivnění výsledků při indikacích vad. Po odstranění následuje osušení a poté se vyvolá indikace pomocí tzv. vývojky (g). Nejběžněji se tato vývojka nanáší nástřikem, ale také natíráním, ponorem či suchým napařováním. Po odpaření suspenze se objeví na předmětu v závislosti na zvoleném penetrantu barevná nebo fluorescenční stopa. V principu vývojka napomáhá ke vzlínání detekční báze z necelistvosti a tvorbě obrazu k indikaci vad ve

svarovém spoji (h). Vyhodnocení zkoušky se dělá ihned, kdy zejména u vytvořených vad větších rozměrů je indikace již pozorovatelná. Po uplynutí cca 15 minut jsou patrné i menší necelistvosti svaru. Indikace se hodnotí na základě vizuálního vjemu barevného nebo jasového kontrastu. [9], [11].

Obr. č. 4 Princip kapilární zkoušky



Zdroj: [9]

Výhody:

Nenáročná na

Nízké cena a ve

Vysoká citlivost

Použití u materiálů jak magnetických tak i nemagnetických. [14]

Nevýhody:

Pouze povrchové vady

Nutná příprava povrchu

Rychlost metody

4.3 Metoda magnetická prášková

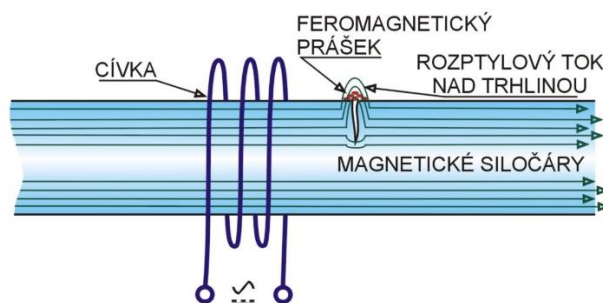
Podobně jako u metody kapilární se hledají indikace vad v povrchových vrstvách svarového spoje a přilehlé tepelně ovlivněné oblasti. Lze však touto metodou zjistit i vady vyskytující se těsně pod povrchem. Nevýhodou je použití pouze u materiálů feromagnetických, tudíž pro materiály jako vysokolegovaná ocel a slitiny hliníku, mědi atd. je tato metoda nepoužitelná. Objekt nesmí být hrubý, citlivost závislá na orientaci magnetického pole. Výhodou tohoto postupu je citlivost na malé necelistvosti, je relativně rychlá. Možnost využití metody na automatické lince.

Kontrola spočívá v zmagetizovaném feromagnetickém materiálu a vytvoření stabilního magnetického pole uvnitř tohoto materiálu. Necelistvosti zvětšují magnetický odpor a způsobují narušení tohoto magnetického pole, tzv. rozptylový magnetický tok, který v závislosti na výskytu vady vybočuje z předpokládaného směru. U povrchové/podpovrchové necelistvosti rozptylový magnetický tok překlene přes vadu. Ke zřetelné identifikaci se dospěje za použití fluorescenčního prášku, který se buďto na povrch napráší nebo obsažený v tekutině se na povrch nalije. V místech vzniku vady se prášek hromadí a vytváří jasnou stopu podávající obrys necelistvosti. Princip zkoušky je zobrazen na obrázku č. 5.

Při použití fluorescenčního prášku se zkouška vyhodnocuje v černém světle UV lampy. Následné odmagnetování součásti je nutné, pokud by zmagetizovaný předmět nemohl plnit svou funkci. Dalším faktem je, že neodmagnetované součásti nelze dále svařovat. [12], [13], [19]

Práškovou metodou lze indikovat trhliny o šířce 0,001 mm a hloubce 0,01 mm.

Obr. č. 5 Princip magnetické zkoušky



Zdroj: [13]

Výhody:

Citlivost na malé necelistvosti

Relativně rychlá

Možnost automatizace

Lze indikovat trhliny o šířce 0,001 mm a hloubce 0,01 mm

Nevýhody:

Hladký povrch

Citlivost závislá na orientaci

magnetického pole

4.4 Metoda ultrazuková

Ultrazukovou metodou lze zjišťovat vnitřní vady svarů. Metoda je založena na principu šíření akustického harmonického kmitání v kontrolovaném svarovém spoji a registraci změn způsobující v kontrolovaném prostředí jeho interakci na rozhraní mezi dvěma prostředími a rozdílnými akustickými vlastnostmi. Ultrazuk tvoří mechanické kmity o frekvenci vyšší než 20 kHz. U metody nedestruktivní kontroly svarových spojů se využívá pásmo o frekvenci 0,5 až 15 MHz.

Základní princip metody UT je založen na průchodu ultrazukové vlny skrz materiál a jeho odrazu od překážky (zadní stěny, nebo vady – obrázek č. 6). Rychlost ultrazukových vln je pro daný materiál konstantní a proto po použití elementárního vzorečku $v = s/t$ a změření doby návratu lze určit, v jaké vzdálenosti od sondy došlo k odrazu vlny zpět k sondě, která vlnu přijmula. [14], [15], [16], [20].

Výhody:

Citlivost vůči vadám uvnitř materiálu

Malé požadavky na přípravu

Použití u většiny materiálů

Okamžité výsledky

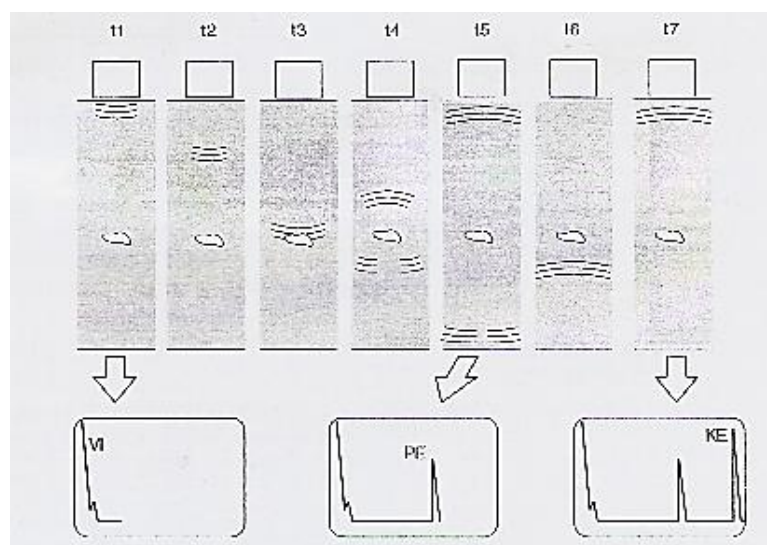
Nevýhody:

Povrch musí být hladký a

přístupný pro přiložení sondy

Náročnost metody na vyhodnocení akustického signálu

Obr. č. 6 Princip odrazové metody - echa



Zdroj: [16]

4.5 Metoda vířivých proudů

Metoda vířivých proudů spočívá ve vystavení elektricky vodivého materiálu střídavému, primárnímu magnetickému poli, které je generováno budící cívkou. V objektu se indukují vířivé proudy, které tvoří sekundární magnetické pole působící proti směru poli primárnímu. Tyto dvě magnetická pole působí na měřicí vinutí cívkového systému, v němž se indukuje napětí ovlivněné elektrickými a magnetickými hodnotami objektu. Frekvence budícího proudu rovněž ovlivňuje velikost vířivých proudů. Používaná frekvence proudu u této metody se pohybuje v řádě kHz – MHz. Obrázek č. 7

Nedestruktivní kontrola svarů pomocí metodou vířivých proudů tkví v tom, že v přítomnosti vady se přeruší část trajektorie vířivých proudů. To se projeví na změně zpětné odezvy budícího pole. Tato změna znázorňuje indikaci, která je poté zpracována a dále vyhodnocována. [14], [16], [17], [18].

Výhody:

Cena oproti metodě prozařování

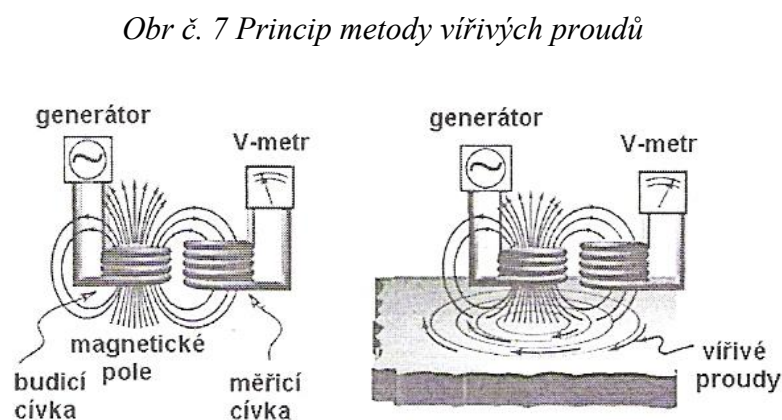
Přenosný přístroj

Není třeba upravovat povrch oproti metodě PT

Nevýhody:

Indikace hluboko umístěných vad

Citlivost na rozměry objektu



Zdroj: [16]

4.6 Prozařovací metoda

Princip prozařování nebo také radiologické metody je založen na zeslabení intenzity záření (dávkového příkonu) při průchodu zkoušeným materiálem a poté zviditelnění prošlého záření za kontrovaným objektem náležitým detektorem.

Při průchodů záření materiálem je toto záření zeslabováno. Intenzita zeslabení je závislá především na tloušťce materiálu a energii záření. V případě výskytu nehomogenity (vady) je záření v této části méně zeslabováno, ze kterého lze usuzovat typové i rozměrové profily. Podle použití vhodného detektoru záření se dělí prozařování na:

- Radioskopie
- Radiometrie
- Radiografie

U radioskopie je zviditelnění prošlého záření uskutečňováno prostřednictvím vizualizačních zařízení. Příkladem je fluorescenční stínítko nebo rentgenotelevize. Vyhodnocování snímku probíhá v reálném čase, což vytváří flexibilní metodu možnou k automatizaci. Používá se při sériové inspekci předmětů a u pohyblivých mechanismů.

Radiometrie používá k registraci intenzity prošlého záření speciální citlivý dozimetr. Tato metoda se používá zejména pro měření tloušťky materiálu.

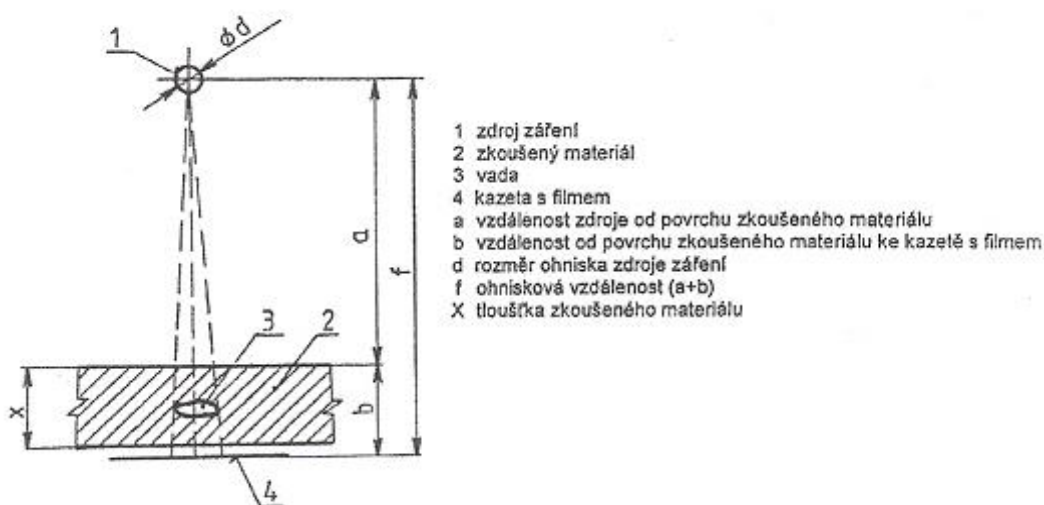
Metoda radiografie bude blíže popsána v následující kapitole. [4], [6], [20], [21]

5. Metoda RT – Radiografie

Radiografická metoda je nejpoužívanější pro nedestruktivní kontrolu svarových spojů prozařováním. Zprostředkovává obraz vnitřních vad. Především vnitřních objemových vad jako jsou dutiny apod. Radiografie dovoluje zjišťování i povrchových vad, které je však zapotřebí nejdříve vyhodnotit vizuálně. U rozpoznávání objemových vad může však docházet ke zkreslení z příčiny polohy vady vzhledem k orientaci záření. Plošné vady nemusí být detekovány vůbec.

Principem je zachycení účinku prošlého záření zkoumaným objektem na speciální průmyslový radiografický film (radiogram). Princip je zobrazen na obrázku č. 8. Touto metodou se získává stínový dokument s vysokou průkazností a rozlišitelností vad. Nevýhodou je, že získání údajů z radiogramu lze až za určitou dobu, protože se film musí nejdříve zpracovat. Metoda nedovoluje také kontrolu předmětů za pohybu. Používá se především v odvětví s vysokou mírou nebezpečnosti tj. tlakové nádoby, letecký a petrochemický průmysl. [4], [6], [16].

Obr. č. 8 Schéma principu radiografie, záznam na film



Zdroj: [6]

5.1 Základy fyziky záření

Záření lze v obecné povaze brát jako šíření prostorem. Jestliže se tato energie šíří pomocí elektromagnetického vlnění, kde nositeli energie jsou fotony, pak jde o rentgenové záření a záření gama. Pokud nositelem energie jsou hmotné částice (elektrony, neutrony, částice alfa) jedná se o korpuskulární záření.

Fotony rentgenového záření a záření gama představují kvantum elektromagnetického pole. V průmyslové praxi radiografie představují nositele informací o nehomogenitách v kontrolovaném objektu.

Volba energie je jedním z nejdůležitějších parametrů při zkoušení prozařováním. Na kontrolované tloušťce a druhu materiálu závisí volba vhodného zářiče. Změny záření X a gama

jsou v souvislosti s průchodem záření materiálem a jeho zeslabením. To se odehrává v mikroskopických rozměrech částic – tedy atomů.

Dalším důležitým aspektem je závislost změny dávkového příkonu ionizujícího záření na vzdálenosti od zdroje záření. Dávkový příkon záření se mění se čtvercem vzdálenosti (s druhou mocninou). Znamená to, že zvětšení ohniskové vzdálenosti od detektoru dvakrát, klesne intenzita záření čtyřikrát. Tento fakt se používá ve výpočtu expozičního času v případě změny vzdálenosti zářiče od detektoru. [4], [16], [20].

5.1.1 Záření gama

Elektromagnetické vlnění o krátkých vlnách, které vzniká při přechodu jádra z vyššího energetického stavu do nižšího. Gama záření nastává samovolnou přeměnou jader radioaktivních izotopů (radioaktivní rozpad). Vlastnosti izotopu závisí na druhu izotopu jeho poločasu rozpadu, hodnoty gama a jeho aktivitě. Radioaktivní přeměnu nelze zastavit, proto jsou izotopy (Ir, Se, Co) uchovávány v tzv. kontejnerech (většinou ochuzený uran) pohlcující záření. Spektrum gama se skládá z ostrých čar – čárové spektrum.

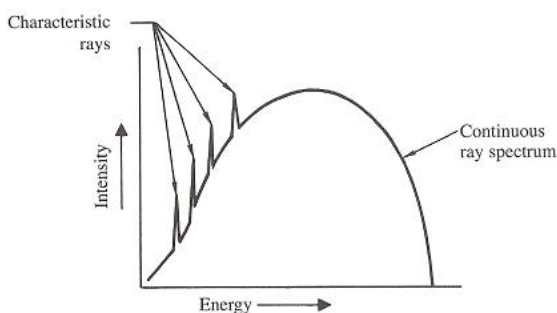
Aktivita izotopů se exponenciálně zmenšuje s časem. Rychlost závisí na druhu izotopu a na jeho rozpadové konstantě.

5.1.2 Rentgenové záření (záření X)

Krátkovlnné elektromagnetické vlnění. Jedná se především brzdné záření, které nastává zpomalováním nabitých částic ve hmotě a z charakteristického záření vznikající při přechodu elektronů z vyšší energetické úrovně do úrovně nižší. Brzdné záření nastává zabrzděním a zakřivením dráhy rychle se pohybujících se záporných elektronů, kterou ovlivňuje kladným nábojem jádra.

Zdroj elektronů představuje žhavená wolframová spirála katody. Mezi katodou a anodou jsou elektrony urychlovány působením vysokého napětí. Většina kinetická energie elektronů dopadajících na anodu se přeměňuje na teplo a pouze cca 1% energie se mění na záření. Z tohoto důvodu je nutné rentgenku chladit. Ke vzniku rentgenového záření je zapotřebí zdroje elektronů, zařízení pro urychlení elektronů a terčík pro zabrzdění urychlených elektronů. Spektrum rentgenového záření je na obrázku č. 9. [4], [16], [21]

Obr. č. 9 Spektrum rentgenky



Zdroj: [21]

Při volbě energie, zda zvolit záření X nebo záření gama pro kontrolu metodou prozáření, je třeba brát zřetel na výhody a nevýhody rentgenových zářičů a radioizotopových zařízení.

Výhody zářičů oproti rentgenkám je pořizovací cena, nevyžadují chlazení a zdroj elektrické energie, prozařování dutých výrobků. Nevýhodou zářičů je nemožnost přerušit záření, aktivita izotopů, nelze měnit energii záření vzhledem k tloušťce.

Záření gama a rentgenové záření mají následující vlastnosti:

- šíření je přímočaré a dosahuje rychlosti světla
- záření má za následek zčernání fotografické emulze
- záření nelze vychýlit magnetickým polem

5.2 Teorie radiografického kontrastu

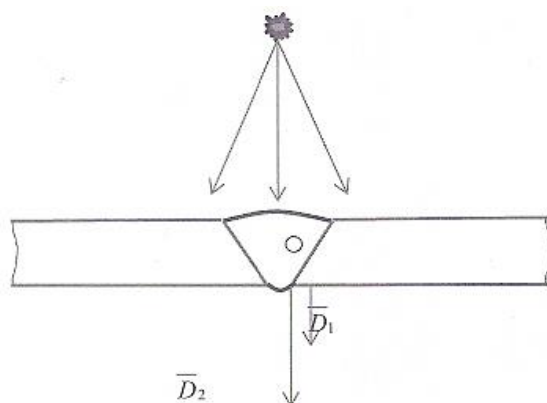
Rentgenové záření a záření gama je schopné prostupovat materiálem. Při prostupu se intenzita záření zeslabuje. Výše zeslabení se s rostoucí tloušťkou materiálu zvětšuje. Na velikosti zeslabení má také vliv specifická hmotnost materiálu. Zviditelnění zeslabení na radiografickém filmu je princip radiografické zkoušky. Zobrazené rozdílné intenzity dávek jsou dány rozdílnou tloušťkou stěn a případnými vadami zkoumaného objektu. [4]

5.2.1 Předmětný kontrast

Prozařováním materiálu, který neobsahuje žádné vady je zeslabení intenzity ve všech místech stejné tedy žádný kontrast. V případě výskytu plynové dutiny ve svarové housence, pronikne touto vadou více záření než okolním materiálem. Obrázek č. 10. Podíl dávkového příkonu místa s dutinou $\overline{D_1}$ zjištěný za zkoumaným svarem a dávky příkonu v místě bez vady $\overline{D_2}$ je označován jako předmětný kontrast. Je neviditelný a musí být patřičným detektorem (většinou radiografickým filmem) zobrazen. Vznikne tak určitý reliéf, který znázorňuje výskyt vnitřních necelistvostí, ale i například převýšení svaru nebo kořene, rozstřík, zápaly atd. [4], [16].

$$\text{Předmětný kontrast} \rightarrow K_p = \frac{\overline{D_2}}{\overline{D_1}}$$

Obr. č. 10 Předmětný kontrast



Zdroj: [4]

5.2.2 Primární a rozptýlené záření

Primární záření je část ionizujícího záření, které projde prozařovaným materiálem přímočaře. Zbývá větší část se nazývá rozptýlené záření a je materiálem odkloněno od přímočarého směru. Necelistvost je na radiogramu promítnuta pouze primárním přímočarým zářením. Rozptýlené záření vždy maří schopnost registrujícího (primárního) záření vykreslit

obraz. Z tohoto důvodu se v některých případech používá kovový filtr umístěný mezi objektem a detektorem. Rozptýlené záření snižuje předmětný kontrast.

5.2.3 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Interakce se hodnotí z pohledu částice, fotonu nebo z pohledu hmoty. Pro prozařovací metodu jsou důležité jevy:

- 1) Absorpce neboli fotoefekt
- 2) Comptonův rozptyl
- 3) Tvorba párů.
 - 1) Fotoefekt nastává v případě záření o nižší energii, které strefí elektrony v atomovém plášti. Tím dojde k oddělení elektronů, které jsou zadrženy okolním atomem a na uvolněné místo se dostane elektron z vyšší energetické úrovně. Diference energií se vyzařuje jako charakteristické záření předmětu.
 - 2) Comptonův rozptyl nastává při záření s větší energií, kdy se nespotřebuje všechna energie fotonu k uvolnění elektronů. Foton se po střetu s elektronem pohybuje jiným směrem a s větší vlnovou délkou → rozptýlené záření.
 - 3) Vysokoenergetické záření (1,02 MeV) pronikne elektronovým obalem až k samotnému jádru. Dojde k přeměně fotonu na elektron a pozitron, které svou energii ztrácejí Comptonovým rozptylem nebo fotoefektem. [16], [19].

5.2.4 Zeslabení

Zákon zeslabení je dán křivkou, která je na obrázku č. 11. Matematicky je popsána níže napsaným vzorcem. Tento vztah platí pro primární záření, tedy bez účinku rozptylového záření. Lze použít pouze u radioizotopů

$$\overline{D_p} = \overline{D_o} * e^{-\mu d}$$

kde:

e = základ přirozených logaritmů -> 2,7

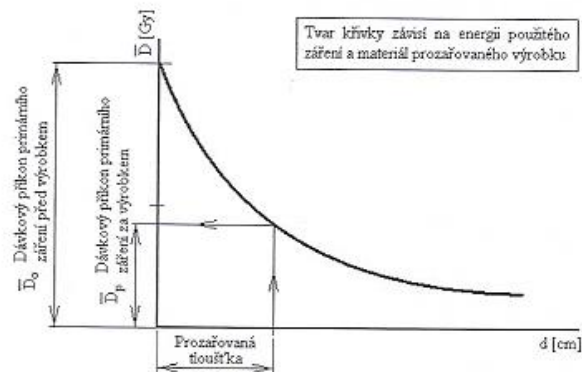
$\overline{D_p}$ = dávkový příkon (Intenzita záření registrující obraz) za objektem

$\overline{D_o}$ = dávkový příkon (Intenzita záření registrující obraz) na povrchu

μ = součinitel zeslabení

d = tloušťka

Obr. č. 11 zákon zeslabení



Zdroj: [4]

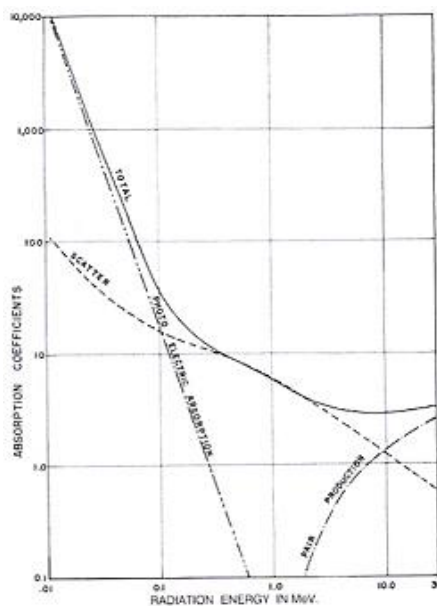
Pro rentgenové záření je vzorec pro zeslabení doplněn o vzrůstový faktor. V praxi se změří na detektoru širokého svazku záření. Pokud je svazek záření úzký, bere se hodnota vzrůstového faktoru = 1. Tvar vztahu je pak dán:

$$\overline{D}_p = \overline{D}_0 * B * e^{-\mu d}$$

Koeficient μ je závislý na:

- energii záření
- materiálu, kde se uvažuje – Hustota a atomové číslo

Graf č. 1 Závislost součinitele zeslabení na energii záření



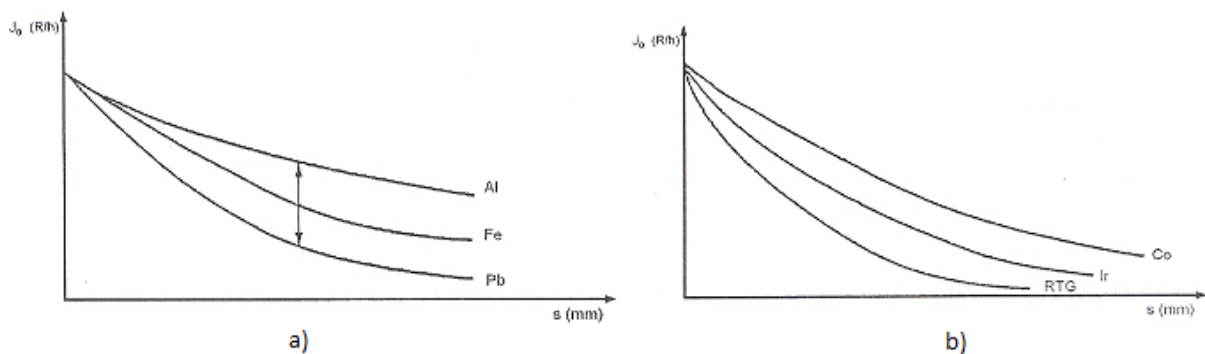
Zdroj: [22]

a) Tento graf je použitelný ve většině případů (10 MeV a tloušťka materiálu do 40 mm)
Platí:

- 1) Nízká energie záření = vysoký koeficient μ
- 2) Vysoký koeficient μ = vysoké zeslabení intenzity záření
- 3) Vysoké zeslabení = vysoké předmětný kontrast
- 4) Vysoký kontrast = vysoká zjistitelnost vad

Atomové číslo má největší vliv na zeslabení. Křivka zeslabení na druhu materiálu je na obrázku č. 12a a křivka zeslabení záření v závislosti na energii záření je na obr. 12b. [4], [16].

Obr. č. 12 Křivka zeslabení záření



Zdroj: [16]

5.2.5 Polotloušťka

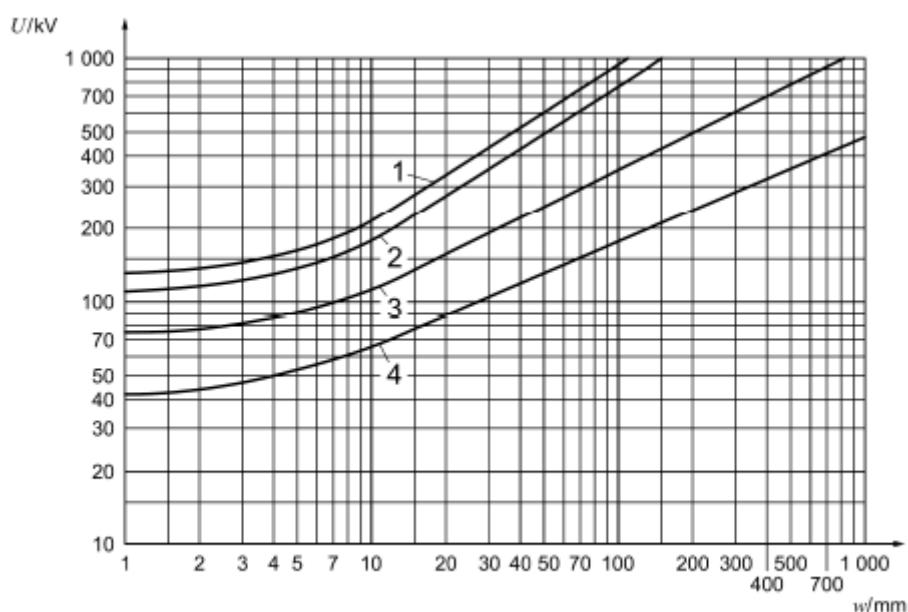
Primární záření proniklé skrz výrobek je důležité z pohledu expozičního času. Tloušťka, která zmenší intenzitu záření na jednu polovinu závislá na energii a materiálu se označuje jako polotloušťka. V praxi se polotloušťka nepoužívá, protože zeslabení je pro jednotlivé energie různé.

5.2.6 Výběr nejvhodnější energie záření

Pro zřetelné rozeznání vady je nutné, aby předmětný kontrast byl co možná největší. Pro získání velkého kontrastu je nezbytné zvolit malou energii záření, kde i při malých rozdílech v tloušťce a tenké stěny materiálu dostaneme velký předmětný kontrast (obr č. 12a). V případě výrobků o větší tloušťce je použito pronikavějšího záření z důvodu menšího vzniku rozptýleného záření. Závislost tloušťky stěny na energii záření je dle druhu materiálu. Slabé záření u silné stěny lehkého kovu může dosáhnout dobrého kontrastu (obr č. 12b).

Volba energie záření tedy závisí na požadovaném kontrastu. Podmínky pro provedení radiografické zkoušky v metodických předpisech - obrázek č. 13. (1 – Cu, 2 – Fe, 3 – Ti, 4 – Al). [4], [16], [23]

Obr č. 13 Maximální napětí rentgenky (funkce tloušťky a materiálu)



Zdroj: [23]

5.2.7 Vzdůstový faktor – B

Pro vyhodnocení kvality obrazu je nutné znát podíl rozptýleného a primárního záření. Tudíž podíl neregistrujícího a registrujícího obrazu necelistvosti záření $\rightarrow k$. Níže popsaný vztah je dán experimentem, kdy mezi zdroj a prozařovaný předmět se vloží olověný kvádr. Přes

olovo se zjistí míra rozptýleného záření $\rightarrow D_s$. Na grafu č. 2 jsou vidět hodnoty vzrůstového faktoru rentgenového záření (a) a záření gama (b) v oceli. Graf č. 2c ukazuje, že tloušťka olověné folie ovlivňuje velikost rozptýleného záření.

$$k = \frac{\overline{D_s}}{\overline{D_p}} = \frac{D_2}{D_1 - D_2}$$

kde:

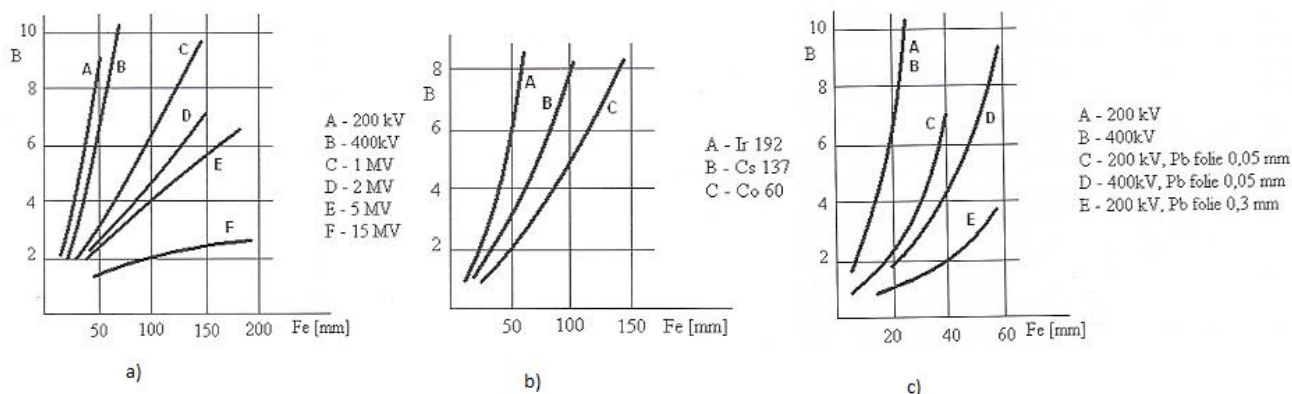
$\overline{D_p}$ = vypočtená hodnota dávkového příkonu primárního záření $\rightarrow (\overline{D_s} + \overline{D_p}) - \overline{D_s}$

D_2 = zčernání radiogramu způsobené rozptýleným zářením

D_1 = zčernání radiogramu způsobené primárním i rozptýleným zářením

$D_1 - D_2$ = zčernání primárním zářením

Graf č. 2 Vzrůstové faktory B



Zdroj: [4]

Použitím filtrů (folií) co nejbližší ke zdroji záření X se snižuje rozptýlené záření a to tím, že folie pohltí nízkoenergetické záření. Umístěním filtru mezi předmět a film je filtrem pohlcováno nízkoenergetické záření ze zkoumaného materiálu, čímž se zvětšuje kontrast. [4], [16].

5.2.8 Radiografický kontrast

Je dán níže popsaným vzorcem jako rozdíl zčernání dvou sousedních míst na radiogramu. Kontrast je závislý na zčernání, filmovém kontrastu, součiniteli zeslabení, vzrůstovém faktoru, změny tloušťky (velikost vady).

$$\Delta D \approx D * G * \frac{\mu}{B} * \Delta s$$

kde:

ΔD = radiografický kontrast, oko je schopno rozeznat zčernání 0,01

D = zčernání

G = filmový kontrast

μ = součinitel zeslabení

B = vzrůstový faktor

Δs = změna tloušťky

μ/B = specifický kontrast

Po odvození rovnice pro změnu tloušťky \rightarrow velikost necelistvosti, jakou lze na radiogramu zpozorovat.

Při zčernání $D = 2$, gradient (pro film třídy C4 a zčernání 2) = 4, $\Delta D = 0,05$. Oko je schopno rozlišit rozdíl zčernání $\Delta D = 0,01$.

$$\Delta s = \frac{\Delta D * B}{D * G * \mu} = \frac{0,05 * B}{2 * 4 * \mu} = 0,00625 * \frac{B}{\mu}$$

Příklad: Tloušťka materiálu z oceli je 20 mm. Zdroj záření – RTG 200kV $\rightarrow \mu = 1,6$,
 $B = 3$

$$\Delta s = 0,00625 * \frac{3}{1,6} = 0,01 \text{ cm} = 0,1 \text{ mm}$$

Z uvedeného vztahu je možné vyvodit závěr pro volbu nejvhodnější energie záření, jenž je základním krokem při určování podmínek prozařování. V Praxi je v prozařování podstatné, kolik záření projde konkrétní tloušťkou a dolehne na detektor. [4].

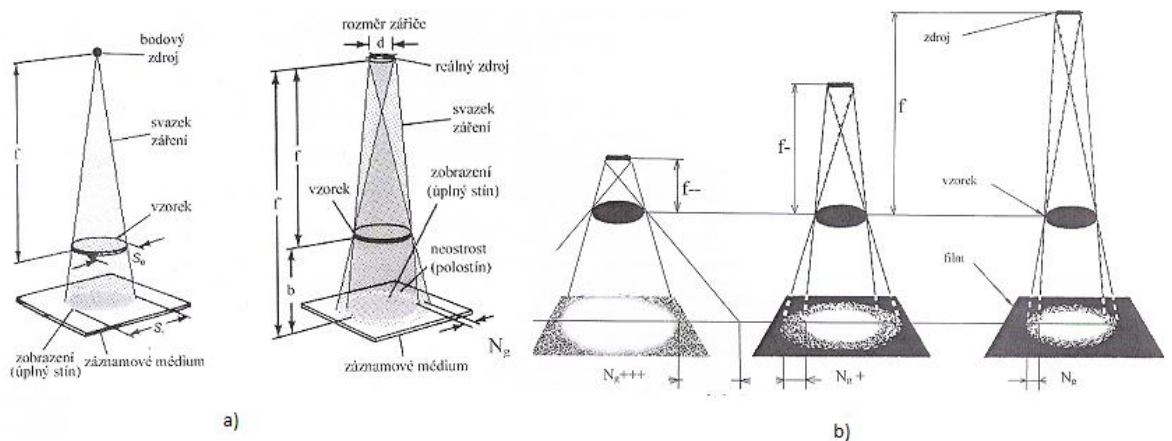
5.3 Geometrické podmínky prozařování



5.3.1 Geometrická neostrost

Na geometrickou neostrost má vliv rozměry zářiče, což je ohnisko rentgenky nebo velikost izotopu. Z faktu, že záření se šíří v přímočarém směru je na radiogramu obraz vytvořen z různých odstínů. Dokonalé ostrosti obrazu nelze dosáhnout, protože zdroj záření nemůže představovat bod. Vzniká tzv. polostín, který limituje zobrazování nejmenších detailů na radiogramu. Rozměr zářiče – d má vliv na hodnotu N_g viz obrázek č. 14a. Další možnosti jak tuto hodnotu ovlivňovat je prodloužení vzdálenosti mezi zdrojem a zkoumaným předmětem (obrázek č. 14b). Neostrost lze také zmenšit samotným filmem, který je možno přistavit blíže k výrobku.

Obr. č. 14 Ovlivňování geometrické neostrosti



Zdroj: [16]

Velikost geometrické neostrosti se popisuje vztahem, kde složka b představuje vzdálenost mezi výrobkem a filmem. f znázorňuje distanci od výrobku ke zdroji záření. Suma těchto distancí se označuje SFD popř. FFD (vzdálenost mezi zdrojem a radiografickým filmem). [4]

$$N_g = \frac{d * b}{f}$$

Při vyhodnocování radiogramu na negatoskopu lidské oko geometrickou a ani vnitřní neostrost nevidí. To, co oko vidí, se označuje jako celková neostrost.

$$N_c = \sqrt[3]{N_g^3 + N_v^3}$$

Mimo subjektivního záporného vlivu celkové neostrosti na zjistitelnost defektů při vyhodnocování radiogramů je nutné brát zřetel vlivu na vykreslení malých vad v případě jejich rozměrů menších než hodnota N_c . Tyto defekty nemohou být na radiogramu zobrazeny skutečným kontrastem, ale v důsledku tzv. degradace kontrastu. Z tohoto důvodu je v prozařovací metodě náročné zobrazení například trhliny či jemné póry.

Aby bylo možné dosáhnout co nejmenší neostrosti při prozařování svarových spojů (malé vady) je podstatné zvolit správnou vzdálenost f , tedy rozměr zdroj předmět. Vnitřní neostrost N_v je dána vlastnostmi použitého radiografického filmu. Geometrickou neostrost lze ovlivňovat, ale s tím se mění i expoziční čas. Podle Bertholdovy teorie je nejvhodnější, jakmile obě dílčí neostrosti se budou rovnat.

$$N_v = N_g$$

Z této teorie vyplývá vztah, který se používá při stanovování optimální ohniskové vzdálenosti. Dle normy ČSN EN ISO 5579 se minimální ohnisková vzdálenost určuje pomocí nomogramu. Na nomogramu (obrázek č. 15) se propojí velikosti zdroje záření (d) a vzdálenosti mezi výrobkem a filmem (b) a odečte se minimální vzdálenost (f) pro třídu prozařování B a pro třídu prozařování A. [16]

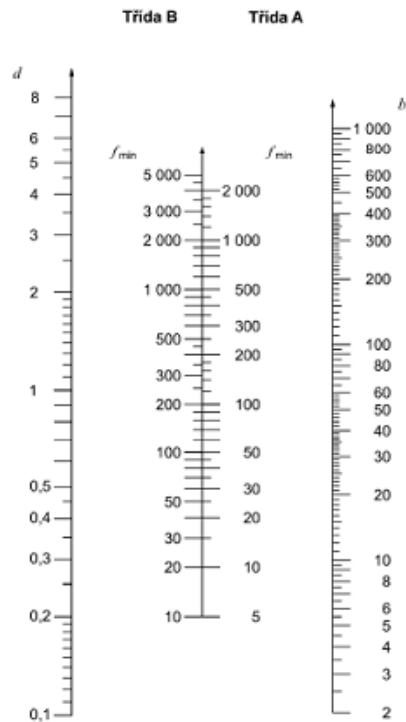
$$f_{\min} = \frac{d * b}{N_g} = \frac{d * b}{N_v}$$

kde:

f_{\min} = ohnisková vzdálenost

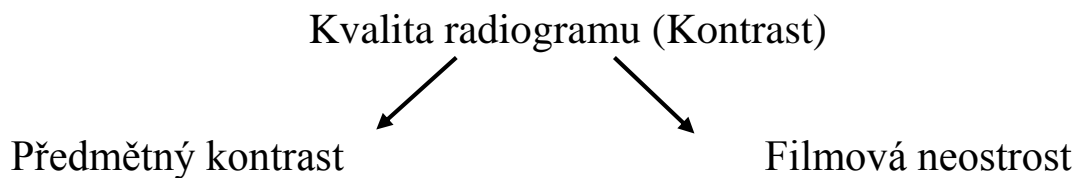
b = prozařovaná tloušťka

Obr. č. 15 Nomogram pro stanovení f_{min}



Zdroj: [24]

5.4 Kvalita radiogramu

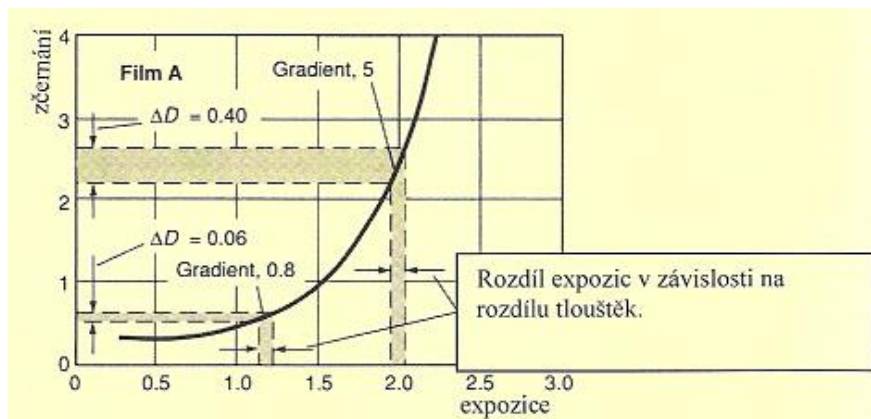


5.4.1 Radiografický film

Detekce gama a X záření je dána interakcí fotonů s detekční látkou přispíváním ionizačních účinků fotonů, které účinkují na vlastnosti detekční látky.

Citlivost filmu k ionizujícímu záření se definuje z potřeby filmu určité dávky, aby bylo dosaženo daného zčernání. Jednotlivé citlivé filmy potřebují různě dlouhou expoziční dobu k dosažení zčernání. Citlivost je dána zrnitostí filmu (vnitřní neostrost filmu N_v). Hrubozrný film má vyšší citlivost. Aby filmový kontrast odpovídal normě ČSN EN ISO 17636 -1 zčernání 2 je nutné volbou expozice, pohybovat se v gradientu 5. Viz obrázek č. 16. [4], [23].

Obr. č. 16 Filmový kontrast



Zdroj: [4]

5.5 Zjistitelnost vad na radiogramu

Prozařování je nedestruktivní metoda k odhalování především objemových vad. Na radiogramu je vada zobrazena jako dvourozměrný objekt, jenž je zviditelněn svou optickou hustotou zčernáním od okolního základního zčernání. Vyhodnocení radiogramů se provádí subjektivně zrakem pracovníka. Popis jednotlivých vad na radiogramu se tedy posuzuje podle následujících tří kritérií:

Rozdíl intenzit prošlého záření přes vadu a okolní prostředí bude patrný

Hranice mezi zviditelněným obrazem a okolím bude ostrá

Menší zrnitost radiografického filmu

Reálné vady se dělí na objemové a plošné. Charakteristické objemové vady jsou póry a příznačné plošné vady jsou kupříkladu trhliny, praskliny, studené spoje atd. Plošné vady jsou nejlépe detekovatelné, jakmile směr záření je rovnoběžný s rovinou defektu. [4], [16].

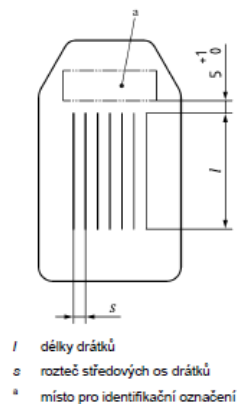
5.6 Radiografické měrky

Než hodnotitel může kontrolovat samotný radiogram, musí mít jistotu, že byl radiogram zhotoven podle jistých podmínek spojené s prozařováním. Zjistitelnost defektu je vázána nejen na parametrech prozařování, nýbrž i na velikosti, geometrických vlastnostech a poloze vady. Protože není možné vzhledem k množství existujících druhů, velikostí a jejich polohové konfiguraci, vyhotovit pro každý výrobek charakteristické vady a prozařovat je společně s výrobkem.

Z těchto důvodů se zavedla do normy představa radiografická měrka (penetrometr – Image quality indicator), podle které se hodnotí kvalitu radiogramu. Drátková měrka (IQI) představuje soustavu drátků o odlišných průměrech. V předpise je poté určeno, jaký nejmenší průměr drátku musí být zřetelný na radiogramu. Radiografická měrka tedy slouží ke kontrole dodržení podmínek prozařování – citlivost zkoušky. V EU se používají především již zmíněné drátové měrky (obrázek č. 17). V Americe se pak používají hlavně plošné otvorové měrky, viz obrázek č. 18. Nároky na měrky: [4], [16], [25].

- Citlivost na změny
- Poskytnout jednoznačnou kvalitu radiogramu
- Adaptovat se na zakřivené ploše
- Malá velikost, proto aby se nezakryly vady
- Ztotožnění měrky na radiogramu
-

Obr. č. 17 Drátková radiografická měrka Obr. č. 18 Otvorová radiografická měrka



Zdroj: [26]



Zdroj: [25]

5.7 Umístění měrek na zkoumaném předmětu

Protože se reálné vady mohou vyskytovat v kterémkoliv místě prozařované tloušťky zkoumaného objektu, musí se měrka umístit do nejpříznivější polohy.

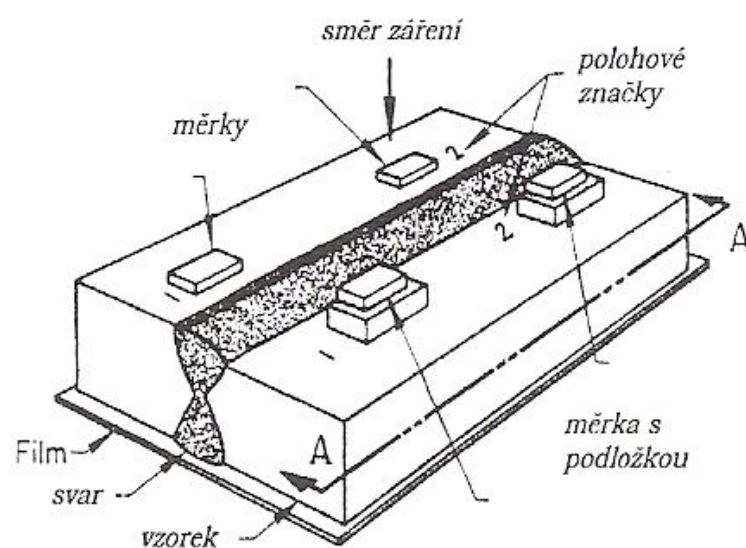
Obecně se měrky umísťují s ohledem na geometrii prozařování, obvykle na straně zdroje záření viz obrázek č. 19.

Plochá otvorová měrka se pokládá vedle nebo přímo na svarový spoj, avšak olověná identifikační značka nesmí zasahovat do spoje. Drátová měrka se umísťuje napříč svaru.

Při prozařování svarových spojů se plochá měrka umísťuje vedle svaru. Existuje dispozice, kdy obraz na radiogramu bude jinak zčernaný než zčernání oblasti převýšeného svaru. Z důvodu vyrovnání prozařovaných tloušťek je zapotřebí upotřebit tzv. podložky – shim. Měrka také může být položena na stejném materiálu o stejné tloušťce, jako je svar v tom případě, pokud nebude možné měrku přímo umístit na předmět.

Z vlivu rozptýleného záření na zčernání radiogramu je dán požadavek na používání písmene B upevněného na zadní stranu kazety, proto aby se doložilo, že film není ovlivněn zpětným zářením. Zčernání je potom dáno působením primárního záření (údaje o vadě) a rozptýleného záření neposkytující žádné informace o vadě. [16]

Obr. č. 19 Umístění měrek na kontrolovaném předmětu



Zdroj: [16]

5.8 Metody prozařování

Metoda radiografické zkoušky se rozděluje na dva nejvýznamnější způsoby expozičního uspořádání. A to na:

- 1) Prozařování přes jednu stěnu označované jako SW (obr. č. 20a)
- 2) Prozařování přes dvě stěny označované jako DW

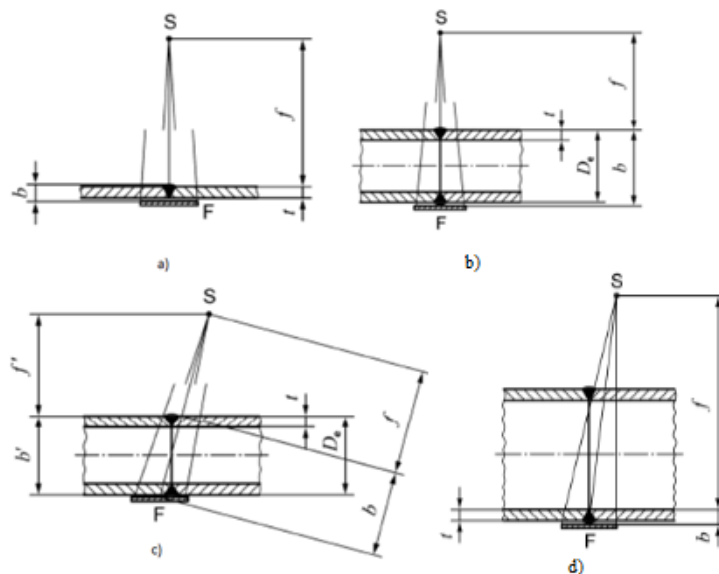
Při prozařování SW tedy na jedné straně umístěný zdroj záření a na druhé straně detektor dále nastávají tři možnosti expozičního uspořádání:

- 1) Centrická expozice
- 2) Excentrická expozice
- 3) Prozařování se zdrojem umístěným vně předmětu a filmem umístěným vevnitř výrobku

Prozařují se přímé předměty (svarové spoje) nebo zakřivené například předměty kruhového průřezu. [4], [20]. Při prozařování DW se dělí na:

- 1) Expozice přes dvě stěny a vyhodnocení jedné stěny – DWSI (obr č. 20d)
- 2) Expozice přes dvě stěny a zobrazení obou stěn DWDI (u svarových spojů se tento způsob dělí na eliptický (obr. č. 20c) a kolmý (obr. č. 20b))

Obr. č. 20 Způsoby prozařování



Zdroj: [23]

5.9 Vyhodnocení RT radiogramů

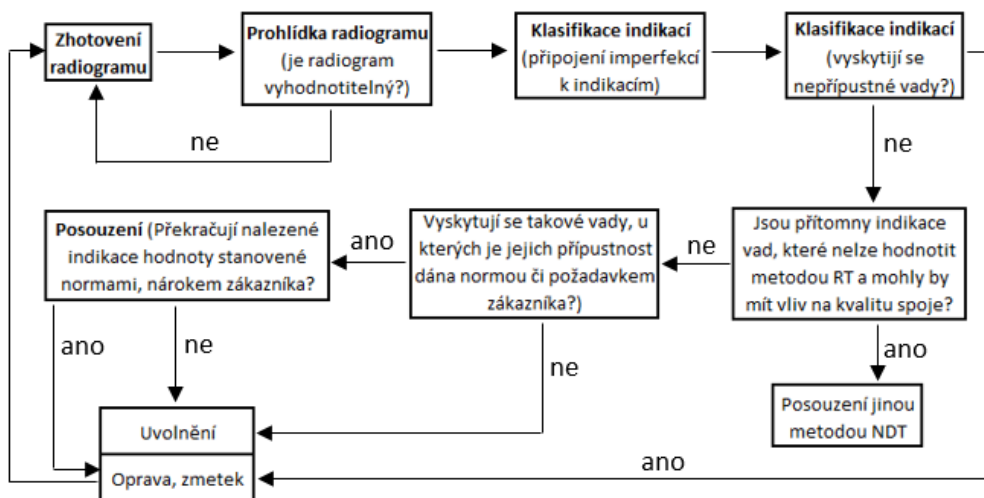
Nejprve se provádí prohlížení radiogramu, jenž má stanovit, zda se z radiogramu dají získat informace o kvalitě výrobku. To je důležité z hlediska zamezení chybného posouzení a zejména z ekonomického hlediska v souvislosti s potřebou opakovat zkoušku. Při prohlížení se berou jako kritérium následující otázky:

- Lze radiogram přiřadit k určitému protokolu?
- Lze jej přiřadit k relevantní části předmětů?
- Je pokryt rozsah zkoušky?
- Je radiogram v oblasti zájmu? – neobsahující artefakty, vyvolání filmu.
- Byl film dostatečně chráněn proti rozptýlenému záření?
- Bylo dosaženo požadovaného zčernání?
- Je radiogram v dostatečné kvalitě? – obraz

Při posuzování jakosti výrobku za použití radiogramu se hodnotí výsledky zkoušky dle následujících kroků. Schéma postupu je na obrázku č. 21.

- Zhotovení radiogramu
- Prohlídka radiogramu
- Interpretace indikací
- Klasifikace indikací
- hodnocení

Obr. č. 21 Postup vyhodnocování kvality výrobku za použití metody RT



Zdroj: vlastní zpracování

Zčernání se měří přístrojem, který se nazývá denzitometr. Oko je schopno vnímat pouze jen v určitém spektru vlnových délek světla. Zdroj světla 1 Cd má intenzitu osvětlení 1 lux ve vzdálenosti 1 m. Radiografický film světlo zeslabuje. Zčernání (D) je dáno logaritmem podílu jasů negatoskopu bez filmu (L_o) a s filmem (L_F). Minimální zjistitelný kontrast necelistvosti pro lidské oko je $D = 0,005 - 0,01$. [4], [16].

$$D = \log \frac{L_o}{L_F}$$

5.9.1 Hodnocení

Hodnocení radiogramu spočívá ve vyhodnocení kvality výrobku z výtěžených informací z kvalitního radiogramu. Vady jsou ve vztahu s určitými předpisy pro hodnocení považovány za relevantní, irelevantní a artefakty.

- Relevantní vada jsou objevy (nepřípustné) a uvádí se do protokolu
- Irelevantní vady jsou dány falešnými indikacemi
- Artefakt je dán vadou filmu nebo jeho poškozením

Jsou známy tři úrovně hodnocení: Nominální, Ordinální a Metrická

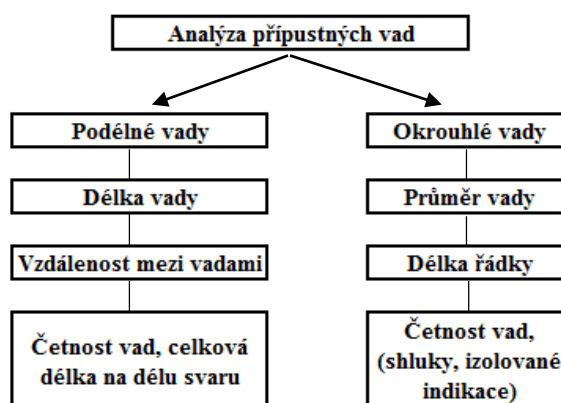
Nominální úroveň – v podstatě se ptá, zda se ve výrobku vyskytuje nepřípustná vada či nikoliv.

Ordinální úroveň pracuje s tzv. atlasem srovnávacích obrazů pro definování určitých fází kvality. Jednotlivé indikace jsou hodnoceny podle jejich zařazení k jednomu nebo několika typům indikací podle jejich rozměrů, množství, uspořádání atd. Atlas porovnávacích popisů nebo obrazů, na kterých se příslušné vady nacházejí se vzrůstající závažností. Vyhodnocení se provádí pouze porovnáním skutečného radiogramu a referenčního radiogramu (ASTM E390), nikoliv počítáním a měřením indikací.

Metrická úroveň – indikace jsou měřeny (rozměry, poloha). Zjištěné hodnoty se porovnávají s kritérii přípustnosti – standardy, požadavky zákazníka. Tento způsob hodnocení svarových spojů se v radiografii používá především. Předpisy a normy jako ASME Code. API a EN ISO 10675 – 1.

Nejdříve se vady musí rozdělit na indikace nepravé, neopravitelné a odstranitelné. Měření se nedělá: u falešných indikací, u nominálně nepřijatelných indikací. Irelevantní druhy vad podle použitých kritérií jsou poté analyzovány z pohledu jejich velikosti, polohy a četnosti (délka, šířka, plocha indikace atd.). Jakmile je mezní hodnota překročena, rozhodne se, zda výrobek bude vyřazen nebo se opraví. Obrázek č. 22 ukazuje analytický postup metody hodnocení. [4], [16].

Obr. č. 22 Analytický postup vyhodnocení vad



Zdroj: vlastní zpracování

6. Praktická část - Porovnání ISO a ASME norem pro hodnocení jakosti svarových spojů

V praktické části budu vyhodnocovat firemní radiogramy pro školící účely. Jsou to radiogramy svarových spojů, jak tenkostěnných, tak i tlustostěnných materiálů. Jsou rozděleny do osmi setů a označeny jako W1, W2 - W8. V každém setu se objevuje dvanáct radiogramů. Touto praktickou částí se naučím vyhodnocovat radiografické snímky na základě porovnáním s tzv. master sheetem, což jsou dokumenty vyhodnocených radiogramů několika odborníky. Protože jsou snímky bez vzorků, nemusí master sheet vypovídat stav reálného svaru. Jsou to posbírané snímky z různých firem, které slouží pro výukovou a zkušební činnost. Avšak při zkouškách metodou prozařování se tento dokument bere jako etalon.

Všechny radiogramy budou hodnoceny z hlediska jakosti radiogramu, rozsahu zčernání, prohlídka radiogramu, zda neobsahuje artefakty, nebo jaké je značení. Dále se určí jaké, typy vad podle EN ISO 6520-1 jsou na radiogramu viditelné. Určí se jejich rozměr, počet, seskupení atd. a jejich poloha. Radiogramy se vyhodnotí dle normy EN ISO 10675-1, jestli jsou přípustné či nikoliv.

Po vyhodnocení všech radiogramů dle evropské normy bude následovat vyhodnocení na základě americké normy ASME BPVC.

Nejprve uvedu, jak normy hodnotí jednotlivé vady. Poté porovnam obě normy na názorných příkladech, aby byly zřejmé oba pohledy ve vyhodnocování daných indikací. Závěrem této kapitoly bude vyčlenění několika typů vad a graficky znázorněno, jak se pohybují přípustné hodnoty obou norem.

6.1 Hodnocení podle normy EN ISO 10675 – 1

Norma specifikuje stupně přípustnosti pro indikace necelistvostí tupých svarů oceli, ale i jiných materiálů jako jsou: titan, nikl a jejich slitiny. Stupně přípustnosti jsou tři (viz obrázek č. 23.) Stupeň jedna znamená nejvyšší nároky na jakost svaru a naopak stupeň tři nejmírnější. Tyto stupně přípustnosti platí v případě, že radiografická zkouška byla provedena v souladu s normou ISO 17636-1, která je zároveň navázána na kritéria přípustnosti stanovená normou EN ISO 5817. Tabulka č. 2 tedy převádí povolené rozměry vad dle EN ISO 5818 na povolené rozměry indikací dle EN ISO 10675 – 1 na radiogramech, které byly zhotoveny podle pravidel uvedených v normě 17636 – 1. [23], [27].

Povrchové vady jako je nadměrně převýšený kořen, zápaly, rozstřík apod., norma proto navrhuje před provedením radiografické zkoušky podrobit svarový spoj metodě vizuální.

Tab č. 2 Vztah mezi stupněm kvality a stupněm přípustnosti

Stupeň kvality podle EN ISO 5817	Techniky a třídy zkoušení podle ISO 17636	Stupně přípustnosti podle této části ISO 10675-1
B	B	1
C	B ^a	2
D	A	3
^a Minimální počet expozic při zkoušení obvodových svarů smí však odpovídat požadavkům třídy A podle ISO 17636.		

Zdroj: [27]

K posuzování indikací jsou podstatné zkratky, které norma EN ISO 10675 – 1 používá:

l – délka indikace

s – jmenovitá tloušťka tupého svaru

t – tloušťka materiálu

L – kterýkoli zkušební úsek o délce 100 mm

w_p – šířka svaru

h – šířka indikace

d – průměr póru

A – součet promítnutých ploch vztažených na plochu L * w_p [%]

d_A – průměr oblasti shluku

∑l – součet délek vad ve zkoušené oblasti L

V tabulce č. 3 jsou uvedeny jednotlivé stupně přípustnosti pro hodnocení nečistvostí, které nelze zjistit a následně vyhodnotit metodou vizuální. Klasifikace imperfekcí je v shodě s označením vad v normě EN ISO 6520 – 1. Jsou zde uvedeny vady nominálně nepřipustné. Jsou to vady:

- trhliny ve všech třech stupních a měděný vměstek
- neprůvary, studené spoje a staženiny ve stupni 1 a 2 přípustnosti

Tab. č. 3 Stupně přípustnosti pro vnitřní indikace tupých svarů

Číslo	Druhy vnitřních vad podle ISO 6520-1	Stupeň přípustnosti 3 ^a	Stupeň přípustnosti 2 ^a	Stupeň přípustnosti 1
1	Trhlina (100)	Nepřípustné	Nepřípustné	Nepřípustné
2a	Rovnoměrná pórovitost a pór (2012, 2011) Jedna vrstva	$A \leq 2,5 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1,5 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm
2b	Rovnoměrná pórovitost a pór (2012, 2011) Více vrstev	$A \leq 5 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 3 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm
3 ^b	Shluk pórů (2013)	$A \leq 16 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4a ^c	Řádek pórů (2014) Jedna vrstva	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4b ^c	Řádek pórů (2014) Více vrstev	$A \leq 16 \%$ $d \leq 0,4 s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,3 s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,2 s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
5 ^d	Protáhlé póry (2015) a červovité póry (2016)	$h < 0,4 s$, max. 4 mm $\Sigma l \leq s$, max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3 s$, max. 3 mm $\Sigma l \leq s$, max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2 s$, max. 2 mm $\Sigma l \leq s$, max. 25 mm $L = 100$ mm
6 ^e	Staženina (202) (kromě kráterových staženin)	$h < 0,4 s$, max. 4 mm $l \leq 25$ mm	Nepřípustné	Nepřípustné
7	Kráterová staženina (2024)	$h \leq 0,2 t$, max. 2 mm $l \leq 0,2 t$, max. 2 mm	Nepřípustné	Nepřípustné

Zdroj: [27]

U typů vad: pór, rovnoměrná pórovitost, shluk pórů a řádek pórů záleží na průměru indikací a na součtu ploch pórů příslušící k danému stupni přípustnosti. Mimo to také záleží na tloušťce svaru (při plném průvaru se bere tloušťka základního materiálu $s = t$). Vady jsou ve svarovém spoji obsažené v celém průřezu, ačkoli na radiogramu jsou promítnuty v jedné rovině. To má za následek v případě vícevrstvých svarů zvětšenou maximální přípustnost součtů ploch. Nároky na maximální velikost jednotlivých pórů jsou shodné pro jednovrstvé i vícevrstvé svary.

6.2 Hodnocení podle normy ASME BPVC VIII.1.

Radiografické zkoušení svarových spojů pro tlakové nádoby podle ASME je popsáno v článku č. 6 sekce V. Kritéria přípustnosti pro svarové spoje jsou uvedena v sekci VIII, Divize 1, článek UW – 51. Na svarech se provádí 100% kontrola. [28].

Nepřípustné jsou indikace trhlin, neprůvarů a studených spojů. Zbylé indikace se rozdělují na protáhlé a okrouhlé indikace bez ohledu na to, zda se jedná o pór, strusku, či wolframový vměstek.

Lineární indikace se hodnotí podle délky, sumární délky, délky mezi indikacemi v závislosti na tloušťce materiálu. Okrouhlé indikace se hodnotí v závislosti na tloušťce materiálu, rozměru indikace, jejich uspořádání a na vzdálenosti od ostatních indikací.

V této normě je dán požadavek na radiogram pouze z nutnosti vidět na radiogramu předepsanou měрку a stanoveného otvoru, případně drátek drátkové měřky.

Norma uvádí následující požadavky. Při nesplnění těchto požadavků je vada označena jako nepřípustná.

1. Indikace vypovídající o přítomnosti trhliny, studeného spoje nebo neprůvaru
2. Protáhlá indikace, jejíž délka je větší než:
 - 6 mm pro tloušťku 19 mm
 - 1/3 tloušťky pro tloušťku od 19 mm do 57 mm
 - 19 mm pro tloušťku nad 57 mm
3. Skupina lineární indikace v řádce, jejichž součtová délka je větší než tloušťka na úseku o délce $12t$, zároveň nepřesáhne vzdálenost mezi indikacemi $6L$ (L délka nejdelší indikace ve skupině), (t – tloušťka materiálu).

Platí tedy, že se posuzuje délka jednotlivé indikace (podle tloušťky) a sumární délka na určité délce svarového spoje ($12t$) a zohledňuje se, že když jsou indikace dále od sebe, tak se nesčítají. Sčítají se pouze tehdy, když jsou blízko sebe a mohli by být nebezpečné.

4. Okrouhlé indikace - Indikace s maximální délkou trojnásobku šířky nebo méně (3:1). Tabulka č. 4.

- 1/10 pro $t < 3,2$ mm
- 0,4 mm pro $3,2 \leq t \leq 6,4$ mm
- 0,8 mm pro $6,4 < t \leq 50,8$ mm
- 1,6 mm pro $50,8 < t$

Pozn. Jestliže bude tloušťka 5 mm, nebudeme brát v potaz indikace o 0,4 mm. V normě ISO by se tato indikace hodnotila.

Maximální velikost okrouhlých indikací je $1/4 t$ nebo 4 mm, co je menší. Pro izolované indikace, které jsou oddělené “palcem“ od ostatních indikací je to: (tabulka č. 4)

- $1/3 t$ maximálně 6 mm pro $t \leq 50,8$ mm
- 10 mm pro $t > 50,8$ mm

Tab č. 4 Okrouhlé indikace

Thickness, t , mm	Maximum Size of Acceptable Rounded Indication, mm		Maximum Size of Nonrelevant Indication, mm
	Random	Isolated	
Less than 3	$\frac{1}{4} t$	$\frac{1}{3} t$	$\frac{1}{10} t$
3	0.79	1.07	0.38
5	1.19	1.60	0.38
6	1.60	2.11	0.38
8	1.98	2.64	0.79
10	2.31	3.18	0.79
11	2.77	3.71	0.79
13	3.18	4.27	0.79
14	3.61	4.78	0.79
16	3.96	5.33	0.79
17	3.96	5.84	0.79
19.0 to 50. incl.	3.96	6.35	0.79
Over 50	3.96	9.53	1.60

GENERAL NOTE: This Table contains examples only.

Zdroj: [28]

Indikace jsou buďto náhodně rozptýlené (v ISO – rovnoměrná pórovitost) nebo mohou být izolované (na každou stranu od indikace bude čistý materiál bez vad na vzdálenost jednoho palce – 25,4 mm).

- a) Řádková indikace – Sekvence čtyř nebo více indikací rovnoběžné se svarem a leží na přímce.

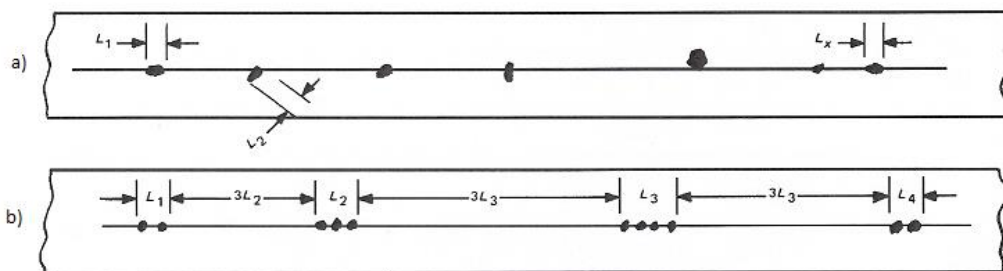
Pozn. V normě EN ISO 10675 – 1 počet indikací není stanoven.

Řádkové okrouhlé indikace (obrázek č. 23a) jsou přípustné, je-li součet průměrů těchto indikací menší než t na délce $12t$. Součet délek skupin řádkových okrouhlých indikací (obrázek č. 23b) musí být menší než t na délce $12t$. Maximální délka skupiny L :

$$\left. \begin{array}{l} L = 6,4 \text{ mm pro } t < 19 \text{ mm} \\ L = 1/3 t \text{ pro } 19 \text{ mm} \leq t \leq 57 \text{ mm} \\ L = 19 \text{ mm pro } t > 57 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{ Posuzování jako lineární indikace}$$

Minimální vzdálenost mezi skupinami musí být $3L$, přičemž L je nejdelší hodnocená skupina.

Obr. č. 23 Řádkové okrouhlé indikace



Zdroj: [28]

- b) Mimo nároků na řádkové a izolované indikace nejsou mezery mezi sousedními indikacemi definovány z pohledu přípustnosti.
- c) Referenční obrazy okrouhlých indikací

Plochy se hodnotí ordinálně, viz obrázek č. 27. Referenční obrázky ukazují různé typy náhodně rozmístěných okrouhlých indikací včetně shluků pro různé tloušťky svarů. Obrázky představují maximální přípustné limity koncentrace indikací. Pro každý určitý rozsah tloušťky znázorňují radiogramy v délce 150 mm v měřítku 1 : 1. V případě tloušťky do 3 mm se celkový počet indikací stanovuje na 12 na délce 150 mm. Jestliže svarový spoj nemá délku min. 150 mm, počet indikací se snižuje úměrně k této délce.

- d) U shlukových indikací nesmí délka shluku přesáhnout hodnotu 25,4 mm (palec) nebo $2t$, co je menší. U výskytu více shluků nesmí součtová délka shluků překročit 25,4 mm

na úseku 150 mm. Velikost jedné indikace se hodnotí podle 1/4 t, protože indikace jsou blízko u sebe.

- e) Pro všechny indikace také platí: Tloušťka t – v případě spoje dvou materiálů o různých tloušťkách se indikace vztahují k slabší tloušťce spojovaných částí.

6.3 Porovnání obou postupů vyhodnocení

Příklad 1:

Stupeň přípustnosti 2 dle EN ISO 10675-1, Tupý, vícevrstvý svar z oceli, plný průvar $t = 6$ mm, šířka svaru $w_p = 8$ mm. Obrázek č. 24.

Průměry shluků:

$$d_1 = 5 \text{ mm} \rightarrow A_1 = 20 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = 6 \text{ mm} \rightarrow A_2 = 28 \text{ mm}^2$$

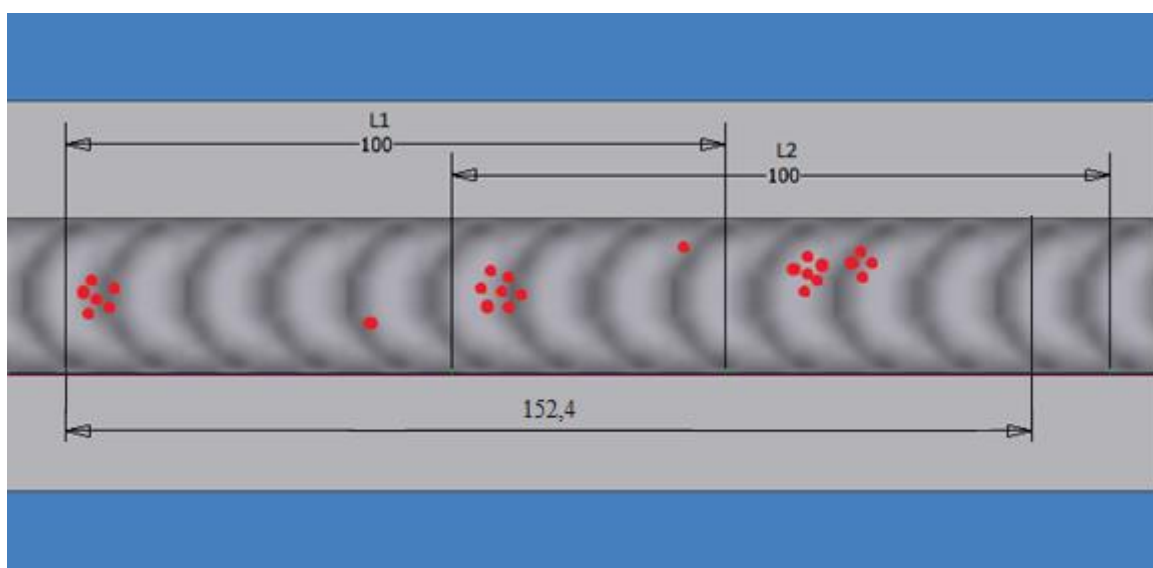
$$d_3 = 6 \text{ mm} \rightarrow A_3 = 28 \text{ mm}^2$$

$$d_4 = 4 \text{ mm} \rightarrow A_4 = 13 \text{ mm}^2$$

Průměr pórů:

$$d = 1,9 \text{ mm}$$

Obr. č. 24 Příklad svarového spoje č. 1



Zdroj: vlastní zpracování

Řešení podle EN ISO 10675 – 1

Vada 2013 (shluk) – $d \leq 0,3 s$; max. 3 mm; $\rightarrow d \leq 0,3 * 6 = 1,8$ mm; max. 3 mm \rightarrow
 $d \leq 1,8$ mm - Nevyhovuje

$$A \leq 8\% z L * w_p \rightarrow A \leq 0,08 * 100 * 8 \rightarrow \mathbf{A \leq 64 \text{ mm}^2}$$

Jestliže je vzdálenost mezi shluky menší, než je rozměr plochy menšího shluku, změří se plocha obou shluků včetně vymezené plochy mezi nimi.

Na radiogramu nesmí být indikace póru ve shluku s průměrem větší než 1,8 mm a plocha shluku na jakékoli délce svarového spoje nesmí být větší než 64 mm². Jestliže jedna z těchto kritérií překročena, svarový spoj je nevyhovuje požadované kvalitě.

Na délce $L_1 = A_1 + A_2 = \mathbf{48 \text{ mm}^2} \rightarrow$ VYHOVUJE

Na délce L_2 – vzdálenost mezi shluky je menší než $d_3 \rightarrow$ křivka, která obsahuje oba shluky $\rightarrow A_3 + A_4 +$ mezer $\approx 50 \text{ mm}^2$. Celková plocha na $L_2 = A_2 +$ křivka = **78 mm²** \rightarrow NEVYHOVUJE.

Vada 2011 (pór) - $d \leq 0,3 s$; max. 4 mm; $\rightarrow d \leq 0,3 * 6 = 1,8$ mm; max. 4 mm \rightarrow
 $d \leq 1,8$ mm $\rightarrow L_1, L_2$ – VYHOVUJE

Řešení podle ASME BPVC VIII.1

Vada – shluková indikace

Délka shluků nesmí překročit hodnotu 25,4 mm na délce 152,4 mm $\rightarrow d_1 + d_2 + d_3 +$
 $d_4 = \mathbf{21 \text{ mm}} \rightarrow$ VYHOVUJE.

Vada – okrouhlá indikace

Póry nejsou odděleny od ostatních indikací vzdáleností 25,4 mm, tudíž se jedná o náhodné indikace. Max. velikost = $\rightarrow 1/4t$, nebo 4 mm = $1/4 * 6 = \mathbf{2 \text{ mm}} \rightarrow$ VYHOVUJE.

Tabulka č. 5 ukazuje srovnání příkladu č. 1

Tab č. 5 Porovnání příkladu č. 1

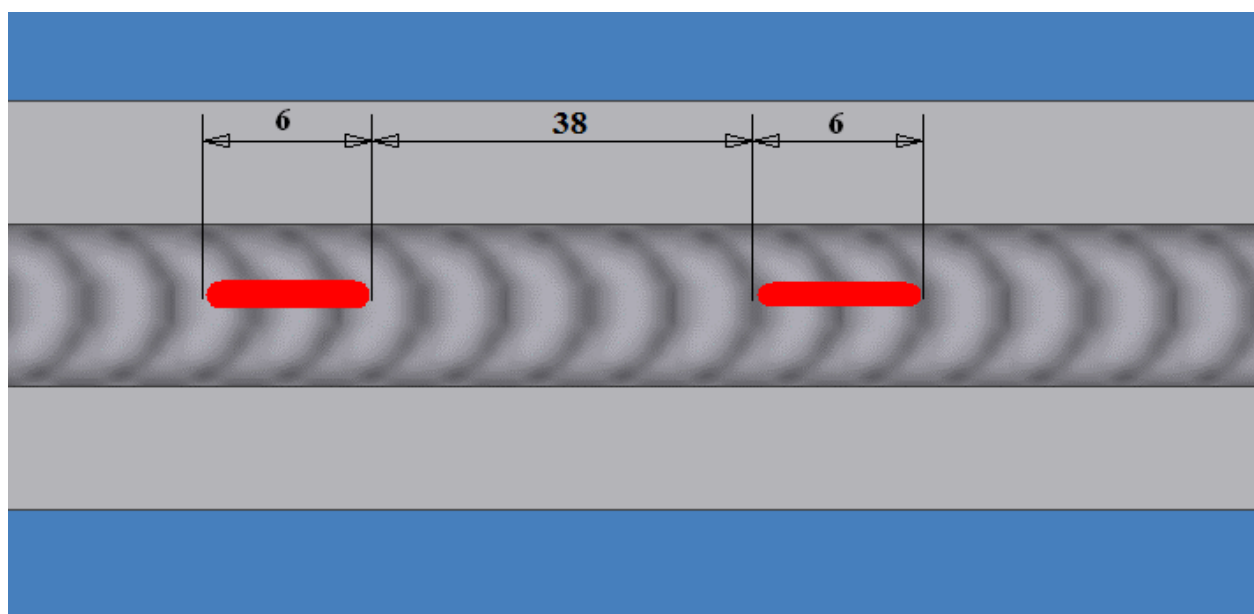
Srovnání příkladu 1. podle ISO a ASME	
ISO 10675-1	ASME BPVC VIII.1
Vada 2013 (shluk)	Shluková indikace
Na délce L1	Na celé délce svaru
VYHOVUJE	NEVYHOVUJE
Na délce L2	
NEVYHOVUJE	
Vada 2011 (pór)	Okrouhlá indikace
VYHOVUJE	NEVYHOVUJE

Zdroj: vlastní zpracování

Příklad 2:

Stupeň přípustnosti 1 dle EN ISO 10675-1, Tupý, vícevrstvý svar z oceli, plný průvar $t = 10$ mm. Viz obrázek č. 25, svarový spoj obsahuje dvě protáhlé indikace o délce 6 mm a šířce 1 mm.

Obr č. 25 Příklad svarového spoje č. 2



Zdroj: vlastní zpracování

Řešení podle ISO 10675 - 1

Vada 2015 (protáhlé póry) – $h \leq 0,2 s$; max. 2 mm; $\rightarrow h \leq 0,2 * 10 = 2 \text{ mm}$; max. 3 mm
 $\rightarrow h \leq 2 \text{ mm} \rightarrow \text{VYHOVUJE}$

$\sum l \leq s$, max 25 mm na úseku 100 mm $\rightarrow 2*6 = 12 \text{ mm} \rightarrow \text{NEVYHOVUJE}$

Řešení podle ASME BPVC VIII.1

Aby vady byly přípustné, musí být vzdálenost mezi nimi více, jak 36 mm ($6 * 6$) \rightarrow
VYHOVUJE

Pokud by byla vzdálenost mezi nimi menší než 36 mm, tak se musí sečíst ($6 + 6 = 12$ mm), tudíž nepřipustné, protože sumární délka je větší než tloušťka. Norma ASME tedy dovoluje tři indikace o maximální délce 6 mm na délce 120 mm při tloušťce 10 mm.

Tabulka č. 6 ukazuje srovnání příkladu č. 2

Tab č. 6 Porovnání příkladu č. 2

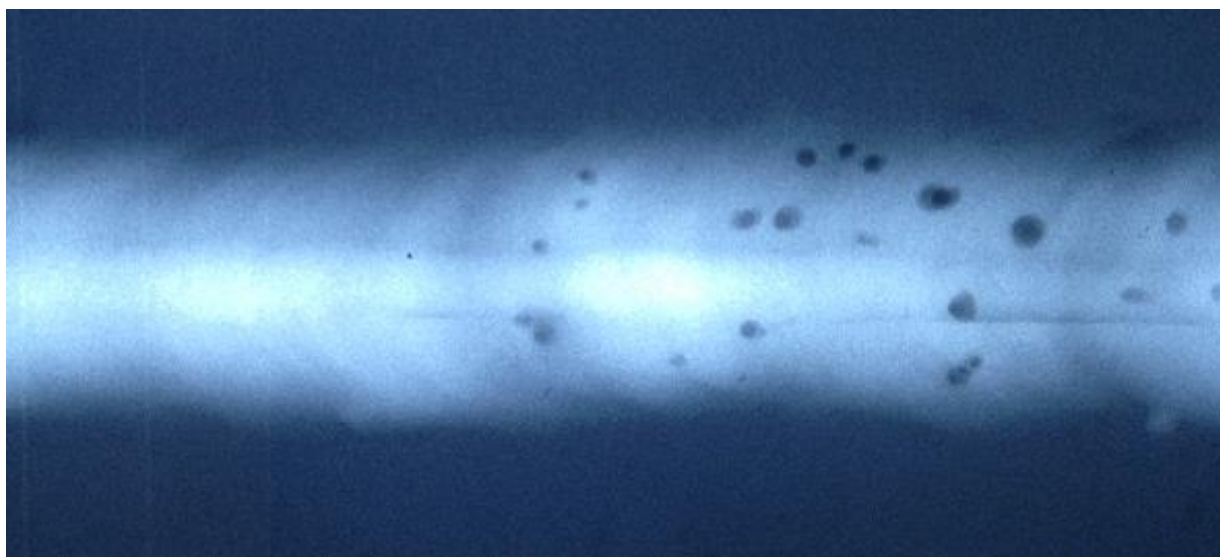
Srovnání příkladu 2. podle ISO a ASME	
ISO 10675-1	ASME BPVC VIII.1
Vada 2015 (protáhlé póry)	Lineární indikace
NEVYHOVUJE	VYHOVUJE

Zdroj: vlastní zpracování

Příklad 3:

Stupeň přípustnosti 1 dle EN ISO 10675-1, Tupý svar z oceli, plný průvar $t = 8 \text{ mm}$, šířka svaru $w_p = 10 \text{ mm}$. Viz obrázek č. 26. Na svarovém spoji je neprovařený kořen a rovnoměrná pórovitost neboli okrouhlé indikace. Průměr největšího póru – 1 mm.

Obr. č. 26 Příklad svarového spoje č. 3



Zdroj: [foto autor]

Řešení podle ISO 10675 - 1

Vada 402 (neprovařený kořen) - NEVYHOVUJE

Vada 2014 (rovnoměrná pórovitost) - $d \leq 0,2 s$; max. 3 mm; $\rightarrow d \leq 0,2 * 8 = 1,6 \text{ mm}$;
max. 3 mm $\rightarrow d \leq 1,6 \text{ mm} \rightarrow$ VYHOVUJE

$A \leq 2\% z L * w_p \rightarrow A \leq 0,02 * 100 * 10 \rightarrow A \leq 20 \text{ mm}^2$ – Podle propočtu a obrázku č.
27 - VYHOVUJE

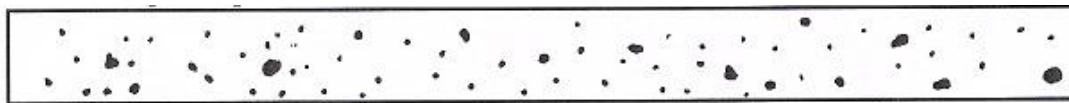
Řešení podle ASME BPVC VIII.1

Vada: neprovařený kořen – NEVYHOVUJE

Vada okrouhlé indikace – $1/4t = 1/4 * 8 = d = 2 \text{ mm}$ – VYHOVUJE, podle srovnání
distribuce dle obrázku č. 26 – VYHOVUJE

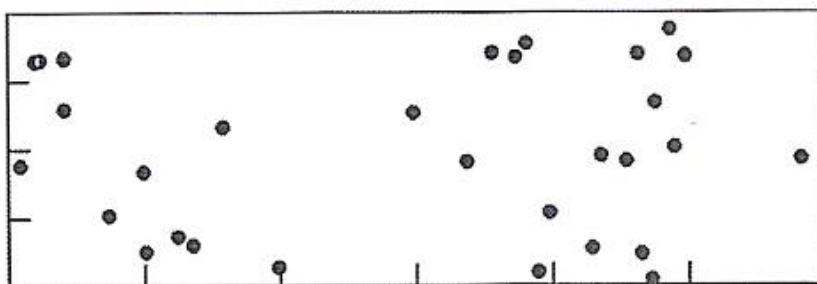
V normě ISO se bude plocha rovnoměrné pórovitosti na délce 100 mm počítat a podle ASME se plocha nepočítá, ale srovnává se podle referenčních obrazů - distribuci povolených indikací na délce 152,4 mm. Nevýhoda normy EN ISO 10675 – 1 je, že procentuální plochy obsahují jen jeden průměr indikace.

Obr. č. 27 Referenční obrázek náhodně rozptýlených okrouhlých indikací pro rozsah tloušťek od 6 do 10 mm



Zdroj: [28]

Obr. č. 28 Obrázek procentuální plochy vad – 2%



Zdroj: [27]

Porovnání obrázků č. 27 a č. 28 by mohlo naznačovat, že tam, kde se firmy řídí podle ASME, povolují více indikací, než podle ISO.

Tabulka č. 7 ukazuje srovnání příkladu č. 2

Tab. č. 7 Porovnání příkladu č. 3

Srovnání příkladu 3. podle ISO a ASME	
ISO 10675-1	ASME BPVC VIII.1
Vada: studený spoj	Vada: studený spoj
NEVYHOVUJE	NEVYHOVUJE
Vada 2012 (rovnoměrná pórovitost)	okrouhlé indikace
VYHOVUJE	VYHOVUJE
dle procentuální plochy	dle referenčního obrázku
VYHOVUJE	VYHOVUJE

Zdroj: vlastní zpracování

6.4 Porovnání vyhodnocení jednotlivých typů vad podle ISO 10675 – 1 a ASME BPVC VIII.1.

Pro následné porovnání jednotlivých typů vad oběma normami jsem vybral vadu označovanou dle normy EN ISO 6520-1 jako pór a okrouhlé indikace označenou podle ASME. Druhým typem vady je shluk pórů.

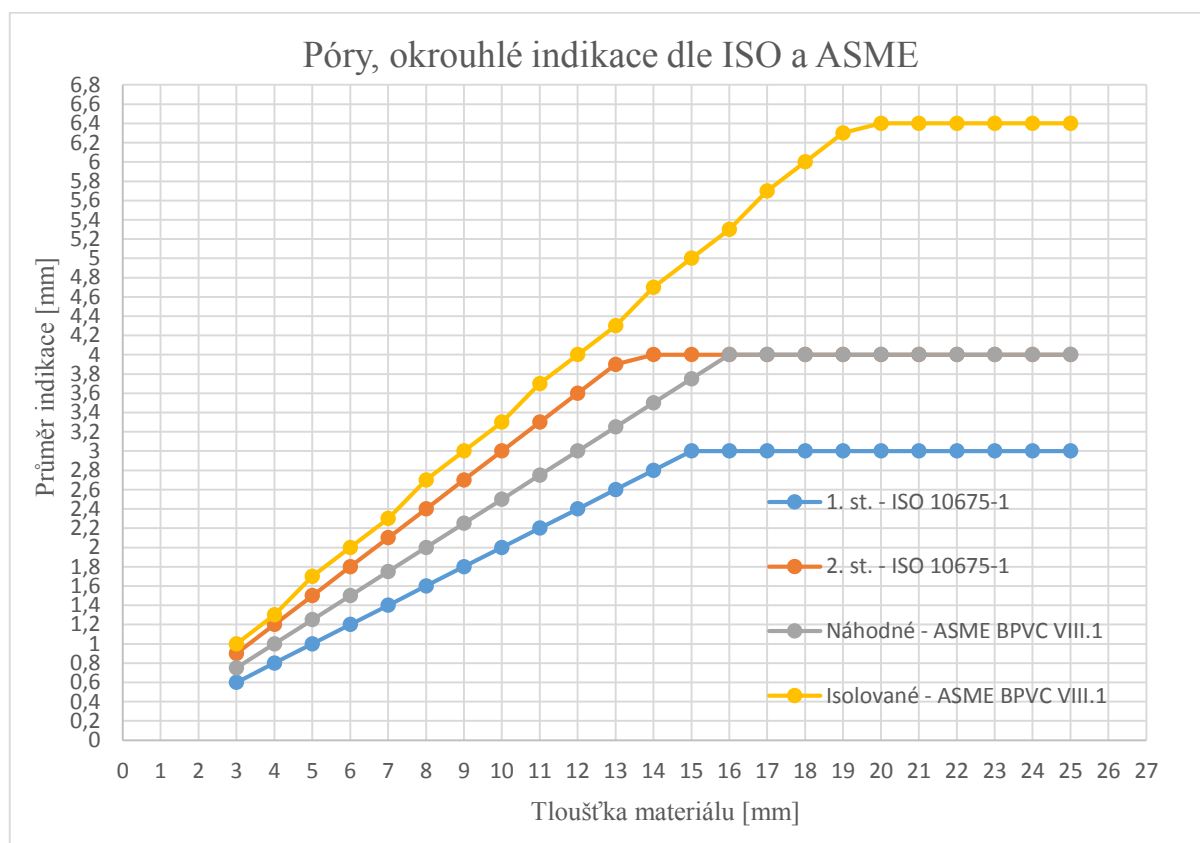
- a) Pór, rovnoměrná pórovitost X Okrouhlé indikace (tabulka č. 8) a srovnání je zobrazeno v grafu č. 3. Vzhledem k velkému rozsahu tlouštěk, jsou ukázány výsledky od 3 mm do 25 mm.

Tab č. 8 pór – okrouhlá indikace

Vada - Rovnoměrná pórovitost, pór (2012, 2011), okrouhlé indikace				
Tloušťka [mm]	EN ISO 10675 -1		ASME BPVC VIII.1	
	1 st. [mm]	2 st. [mm]	Náhodné [mm]	Isolované [mm]
3	0,6	0,9	0,8	1,0
4	0,8	1,2	1,0	1,3
5	1	1,5	1,3	1,7
6	1,2	1,8	1,5	2,0
7	1,4	2,1	1,8	2,3
8	1,6	2,4	2,0	2,7
9	1,8	2,7	2,3	3,0
10	2	3	2,5	3,3
11	2,2	3,3	2,8	3,7
12	2,4	3,6	3,0	4,0
13	2,6	3,9	3,3	4,3
14	2,8	4	3,5	4,7
15	3	4	3,8	5,0
16	3	4	4	5,3
17	3	4	4	5,7
18	3	4	4	6,0
19	3	4	4	6,3
20	3	4	4	6,4
21	3	4	4	6,4
22	3	4	4	6,4
23	3	4	4	6,4
24	3	4	4	6,4
25	3	4	4	6,4

Zdroj: vlastní zpracování

Graf č. 3 Porovnání vady – pór a okrouhlé indikace



Zdroj: vlastní zpracování

- b) Shluk pórů, (tabulka č. 9) a srovnání je zobrazeno v grafu č. 4. Šířka svaru byla stanovena na základě měření a s přihlédnutím do normy ČSN EN ISO 9692-1. Aby bylo možné normy porovnat, bylo nutné přepočítat plochu shluku u normy EN ISO 10675-1 na průměr shluku – [mm].

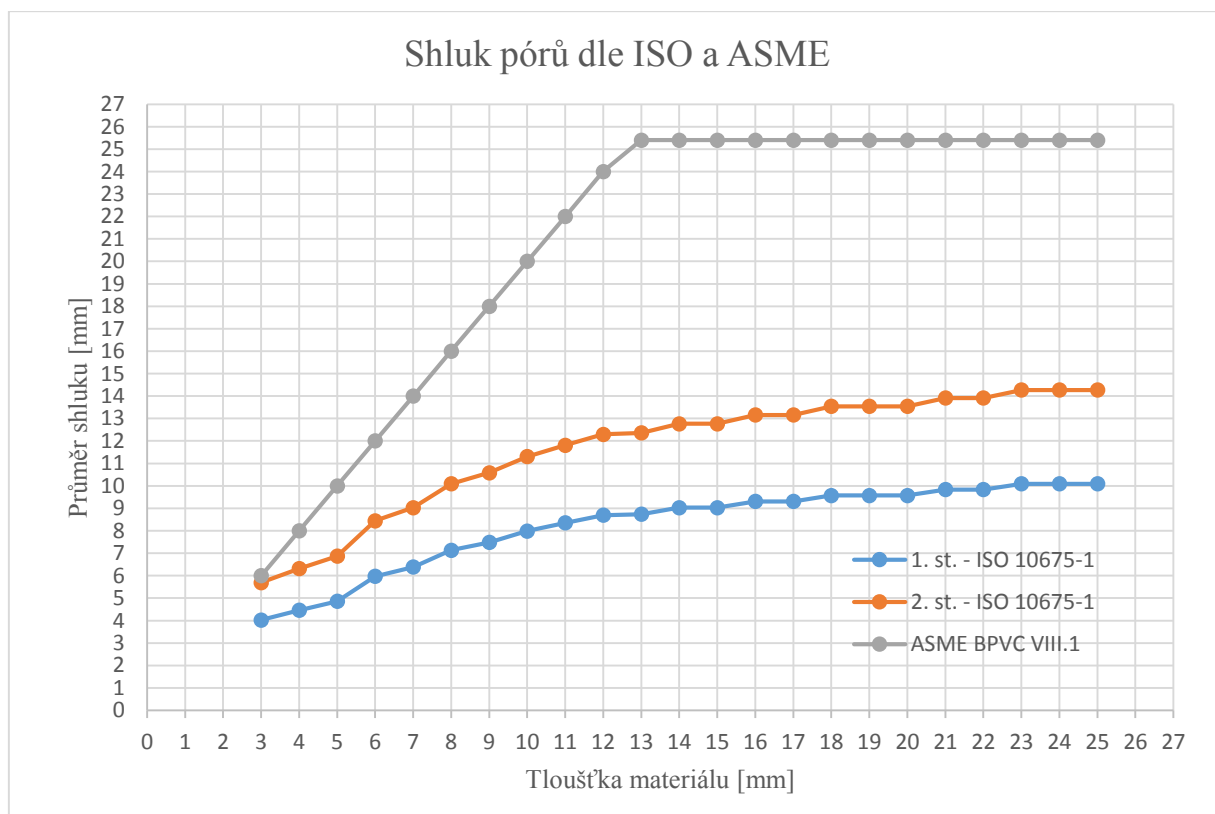
Tab č. 9 shluk pórů

Vada - Shluk pórů (2013), shlukové indikace				
Tloušťka [mm]	Šířka svaru [mm]	EN ISO 10675 -1		ASME BPVC VIII.1
		1 st. [mm]	2 st. [mm]	shlukové indikace [mm]
3	3	4,0	5,7	6
4	4	4,5	6,3	8
5	5	4,9	6,9	10
6	7	6,0	8,4	12
7	8	6,4	9,0	14
8	10	7,1	10,1	16

9	11	7,5	10,6	18
10	13	8,0	11,3	20
11	14	8,4	11,8	22
12	15	8,7	12,3	24
13	15	8,7	12,4	25,4
14	16	9,0	12,8	25,4
15	16	9,0	12,8	25,4
16	17	9,3	13,2	25,4
17	17	9,3	13,2	25,4
18	18	9,6	13,5	25,4
19	18	9,6	13,5	25,4
20	18	9,6	13,5	25,4
21	19	9,8	13,9	25,4
22	19	9,8	13,9	25,4
23	20	10,1	14,3	25,4
24	20	10,1	14,3	25,4
25	20	10,1	14,3	25,4

Zdroj: vlastní zpracování

Graf č. 4 Porovnání vady - shluk pórů



Zdroj: vlastní zpracování

c) Řádek pórů X řádková indikace

V normě ISO se řádek pórů hodnotí dle velikosti jednotlivého póru a plochu indikací a ASME Cod hodnotí řádku jako lineární indikaci a součet průměrů indikací musí být menší než t na délce $12t$.

Hodnocení probíhalo z toho pohledu, jakou vadu v dané normě si mohu dovolit akceptovat a kterou nikoliv. Z porovnání například vyplývá, že póry budou v ASME procházet větší průměry indikací než v normě EN ISO. Jelikož srovnání vady označenou jako řádek pórů bylo z hlediska velmi odlišného způsobu hodnocení problematické, proto jsem princip hodnocení řádkových indikací pouze popsal.

Z grafu č. 3 je patrné, že zhruba do tloušťky svaru cca 15 mm se obě normy svým způsobem pohybují lineárně. Poté se ustálí na konstantní hodnotě ISO 1. st. – 3 mm, ISO 2. st. 4 mm, ASME náhodné indikace – také 4 mm a izolované indikace mají lineární růst až do tloušťky 20 mm a pak se ustálí na průměru indikace 6,4 mm. Graf č. 4 ukazuje velké rozdíly v přístupu ke shlukové vadě. Norma ISO představuje s nárůstem tloušťky svaru polynomický trend, za to v normě ASME se kritérium přípustnosti vyvíjí lineárně a pak opět se ustaví na hodnotě 25,4 mm při tloušťce 13 mm.

7. Vyhodnocení statického souboru radiogramů podle EN ISO 10675-1 více operátory.

Na základě rešeršní části práce nám vznikají otázky, které nejsou v této problematice vyjasněné.

1. Jak se budou srovnatelní operátoři při vyhodnocování stejných radiogramů od sebe lišit?
2. Zda na vyhodnocení má nějaký vliv kvalita radiogramu?
3. Nalezení případné extrémní výchyly v hodnocení a čím by to mohlo být způsobeno.

V experimentu porovnávám sety radiogramů pro hodnocení kvality svarových spojů. Metodika je, že vyhodnotím všechny sety radiogramů a výsledky zapíšu do formuláře sloužící k vyhodnocení zkoušky a porovnám výsledky hodnocení všech operátorů na daném setu.

V tabulce v příloze č. 1 je porovnání pěti setů po dvanácti radiogramech autorem práce a vždy čtyřmi operátory označené jako operátor 1 až operátor 20. Abych minimalizoval ovlivnění výsledků, vybral jsem z uchazečů jako zdroj dat pouze ty, kteří dělali kvalifikační kurs poprvé a kteří se věnují pouze kontrole svarů, nikoliv například kontrole odlitků. Já jako hodnotitel jsem si přizpůsobil podmínky prohlížení stejné, jako jsou u reálné zkoušky.

Vyhodnocení se provádí následným popisem.

Vysvětlení k tabulce:

Radiogram je označen dle setu W0xx

Ve sloupci – Kvalita radiogramu jsou snímky označeny: D+IQI, D, IQI a nebo [-].

- D+IQI znamená, že je radiogram dobrý, tedy odpovídá požadavkům dle normy EN ISO 17 636-1
- D znamená špatnou kvalitu radiogramu z hlediska nevyhovujícího zčernání
- IQI znamená nesplněnou jakost obrazu z hlediska zviditelnění požadovaného drátku radiografické měrky
- Označení [-] znamená nesplnění ani D a ani IQI – špatná kvalita radiogram

Ve sloupcích u operátorů se vyskytuje hodnota „a“ nebo „n“ znamenající, zda operátor radiogram vyhodnotil správně (ano) nebo chybně (ne).

Ano – znamená, že operátor radiogram vyhodnotil správně z pohledu přípustnosti a na základě nalezení správné vady. Pokud je jedna z těchto dvou pohledů porušena, znamená to – NE, nevyhodnotil radiogram správně.

Radiogramy operátorů jsou porovnány s tzv. Master sheetem. Master sheet je list, na kterém jsou jednotlivé radiogramy vyhodnoceny odborníky.

Dále je nově vytvořený sloupec a řádek s procentuální shodou jednotlivých radiogramů a operátorů se zadáním, nikoliv však, jak byl daný operátor úspěšný u zkoušky. Úspěšnost operátora hodnotí odborný školitel dle bodovacího systému.

Měření se provádí proto, že nejdůležitější je zhodnotit, zda operátor vyloučil vzorek, který měl být nebo neměl být vyloučen. V praxi to znamená, zda by operátor nechal na nějakém zařízení v provozu svarový spoj, který měl být vyřazen nebo opraven. Sekundárním kritériem je pak, zda operátor našel správnou vadu. To má však opět jiný význam v případě, kdy operátor

nebude vědět, o jakou chybu se jedná a raději vadu označí jako nepřijatelnou. To má za následek zvýšení nákladů firmy v případě opravy vyhovujících svarových spojů.

Dalším úvahou by mohlo být v případě jasných podkladů, snížit hodnoty kritérií dané normami a tím tak zjednodušit měření. Šlo by kritéria snížit bez vlivu na vyhodnocení?

Přijatelná odchylka mezi operátory požadovaná firmou byla určena na 8 %.

Způsob porovnání výsledků – Obrázek č. 29.

Definoval jsem, když zjištěná vada (šipka č. 1) souhlasí s master sheetem a zároveň souhlasí správné vyhodnocení vady (šipka č. 2), zapsal jsem do tabulky v příloze č. 1 hodnotu „a“. Pokud jedna nebo obě složky nesouhlasily, zapsal jsem do tabulky hodnotu „n“.

Obr. č. 29 Způsob porovnávání výsledků

Naměřené a vyhodnocené hodnoty

Hodnocení kvality svarových spojů na základě radiogramů						
Číslo úlohy	Jakost radiogram	Rozsah zčernání	Prohlídka radiogramu	Zjištěné vady	Poloha Indikace vady:	Vyhovuje A / Nevhovuje EN ISO 10675-1
W061	W14	2,4-3,5	chybí pol. Značky	2011	60, 85, 90 mm zprava	A

Hodnoty dle Master sheetu

Číslo úlohy	Jakost radiogramu	Rozsah zčernání	Prohlídka radiogramu (značení, artefakty, ...)	Zjištěné vady	Zjištěná velikost	Kritérium připustnosti / limitní hodnoty	Vyhovuje A / Nevhovuje NA	Poloha indikace vady:
W061	W14	2,7 – 3,5	Chybí polohové značky	2011	$d_{max} = 1,2$	$d \leq 2,4$	A	Konec; vpravo

Zdroj: [13]

8. Analýza výsledků

Metodikou získávání výsledků je vypočítat medián ze shody operátorů na daném setu a poté odchylku každého operátora. V tabulce č. 10 jsou operátoři, kteří se odchylkou vešly do tolerance dané firmou. Operátorů je 13 z celkových 25. Procentuálně vyhovělo požadavku 52 % operátorů.

Tab č. 10 Operátoři s odchylkou menší než 8 %

Hodnotitel	Set
Operátor 1	W4
Operátor 5	W5
Operátor 8	W5
Operátor 10	W6
Autor	W7
Operátor 13	W7
Operátor 15	W7
Operátor 16	W7
Autor	W8
Operátor 17	W8
Operátor 18	W8
Operátor 19	W8
Operátor 20	W8

Zdroj: vlastní zpracování

1. Porovnání rozdílů v hodnocení radiografických snímků jednotlivými operátory.

Ze srovnání vychází, že celková odchylka v hodnocení radiografických snímků všemi operátory u všech setů oproti master sheetu činila v průměru 16 %. Z tabulek pak dále vyplývá toto:

U setu W4 byla průměrná shoda operátorů oproti master sheetu 80 %

U setu W5 byla průměrná shoda operátorů oproti master sheetu 85 %

U setu W6 byla průměrná shoda operátorů oproti master sheetu 80 %

U setu W7 byla průměrná shoda operátorů oproti master sheetu 87 %

U setu W8 byla průměrná shoda operátorů oproti master sheetu 87 %

2. Porovnání rozdílů v hodnocení radiografických snímků mezi jednotlivými operátory na daném setu.

U jednotlivých operátorů se odchylky na určitém setu pohybovaly následovně:

U setu W4 od 5 do 20 %. V průměru pak 13 %

U setu W5 od 7 do 18 %. V průměru 11 %

U setu W6 od 5 do 20 %. V průměru 13 %

U setu W7 od 5 do 20 %. V průměru 8 %

U setu W8 od 3 do 5 %. V průměru 4 %

V měření jsem zjistil fakt, že spousta chybných vyhodnocení označených „n“ bylo důsledkem nalezení špatných vad. Zde se však jednalo o vady, které mají podobný charakter, proto jsem udělal další měření, které mělo prokázat, jestli chybně nalezená vada nebyla způsobena špatnou kvalitou radiogramu.

3. Porovnání rozdílu v hodnocení radiografických snímků z hlediska kvality radiogramu.

Po zkontrolování všech setů radiogramů bylo zaznamenáno, že 73 % mělo kvalitu neodpovídající požadavkům normy EN ISO 17636-1, viz tabulka č. 11.

Tab č. 11 Procentuální počet dobrých a špatných radiogramů

	Kvalita radiogramu	Počet [%]
Dobrá kvalita {	D+IQI	27 %
	D	13 %
Špatná kvalita {	IQI	38 %
	[-]	22 %

Zdroj: vlastní zpracování

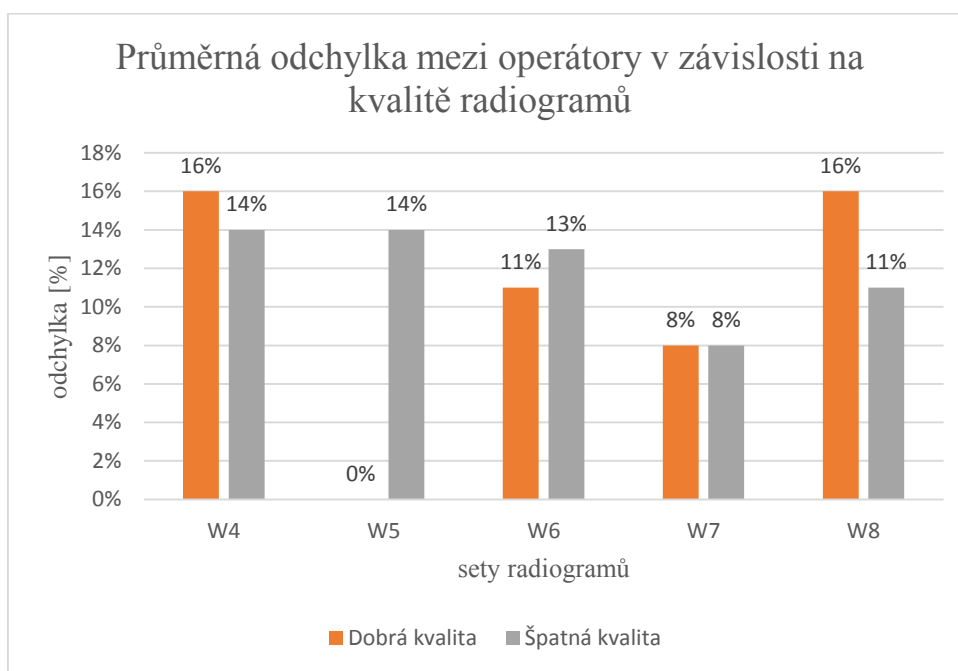
Tabulka č. 12 naznačuje, že kvalita radiogramů nemá zásadní vliv na hodnocení operátorů. Je zde rozdíl cca 2 %. U setu W5 je vidět rozdíl v případě špatných radiogramů činí 14 % a u dobrých radiogramů je odchylka 0 %. Tento poznatek vede k tomu, že u setu W5 velice záleží, zda operátoři vyhodnocují kvalitní či nekvalitní snímek. Na setu W8 je naopak vidět, že špatná kvalita radiogramu zapříčinila menší odchylky mezi operátory oproti kvalitním radiogramům. Proto jsem data podrobil dvouvýběrovému t-testu s nerovností rozptylů. Viz tabulka č. 13. Ve sloupci “nerozlišeno“ je poměr dobrých a špatných radiogramů v poměru 1:4. Znázornění odchylek je ukázáno v grafu č. 5.

Tab č. 12 Odchylka mezi operátory z hlediska kvality radiogramu

set	Průměrná odchylka mezi operátory		
	Kvalita radiogramu		
	Nerozlišeno	Dobrá (D+IQI)	Špatná (D, IQI, [-])
W4	13 %	16 %	14 %
W5	11 %	0 %	14 %
W6	13 %	11 %	13 %
W7	9 %	8 %	8 %
W8	8 %	16 %	11 %
Průměrně na všech setech	11 %	10 %	12 %

Zdroj: vlastní zpracování

Graf č. 5 Porovnání odchylek operátorů v závislosti na kvalitě radiogramů



Zdroj: vlastní zpracování

Tab č. 13 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (Kvalita radiogramu)

Dvouvýběrový t-test s nerovností rozptylů

	Dobrá (D+IQI)	Špatná (D, IQI, -)
Stř. hodnota	0,102	0,12
Rozptyl	0,00442	0,00065
Pozorování	5	5
Hyp. rozdíl stř. hodnot	0	
Rozdíl	5	
		-
t Stat	0,565266864	
P(T<=t) (1)	0,298156527	
t krit (1)	2,015048373	
P(T<=t) (2)	0,596313053	
t krit (2)	2,570581836	

Hodnota $P(T \leq t) (2)$, která udává významnost pro oboustranný t-test. S ohledem na to, že hodnota je větší než konvenční 5 % hladina významnosti, lze usoudit, že rozdíl v míře dobrých a špatných radiogramů se statisticky významně neodlišuje.

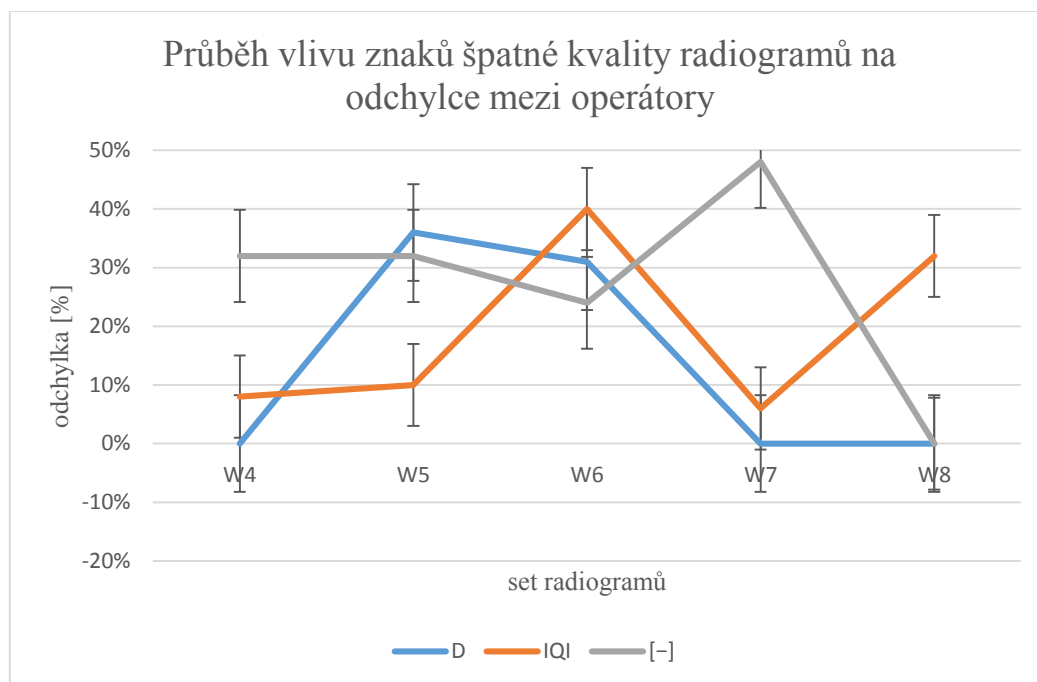
Dále bylo zaznamenáno, jak se jednotlivé znaky špatné kvality radiogramu podepsali na odchylkách mezi operátory. Z tabulka č. 14 je patrné, že naměřené výsledky odchylek mezi operátory na jednotlivých setech jsou značně nestabilní. Pro lepší znázornění je vytvořen graf č. 6.

Tab č. 14 Odchylka mezi operátory z hlediska špatné kvality radiogramu

set	Průměrná odchylka mezi operátory		
	Špatná kvalita radiogramu		
	D	IQI	[-]
W4	0 %	8 %	32 %
W5	36 %	10 %	32 %
W6	31 %	40 %	24 %
W7	0 %	6 %	48 %
W8	0 %	32 %	0 %
Průměrně na všech setech	14 %	19 %	25 %

Zdroj: vlastní zpracování

Graf č. 6 Vliv znaku představující špatnou kvalitu radiogramu na odchylce operátorů



Zdroj: vlastní zpracování

Data získaná z tabulky č. 13 znaků špatné kvality radiogramů jsou zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti znaků na odchylkách v hodnocení operátorů. Viz tabulka č. 15.

Tab č. 15 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (Špatná kvalita radiogramu)

Anova: jeden faktor

Faktor				
Výběr	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
D	5	0,67	0,134	0,03398
IQI	5	0,96	0,192	0,02452
[-]	5	1,36	0,272	0,03072

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F krit
Mezi výběry	0,048013	2	0,024007	0,807218	0,46891	3,885294
Všechny výběry	0,35688	12	0,02974			
Celkem	0,404893	14				

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě provedené analýzy lze určit, že jednotlivé znaky znamenající špatnou jakost radiogramu s pravděpodobností 95 % nemají vliv na četnost a výši odchylek ve vyhodnocení operátorů. Odchytky mezi jednotlivými údaji v tabulce jsou náhodného rázu.

Hodnota P je větší než α – hypotéza o shodných středních hodnotách není zamítnuta. Můžeme konstatovat, že rozdíly v odchylkách hodnocení alespoň mezi dvěma skupinami jsou.

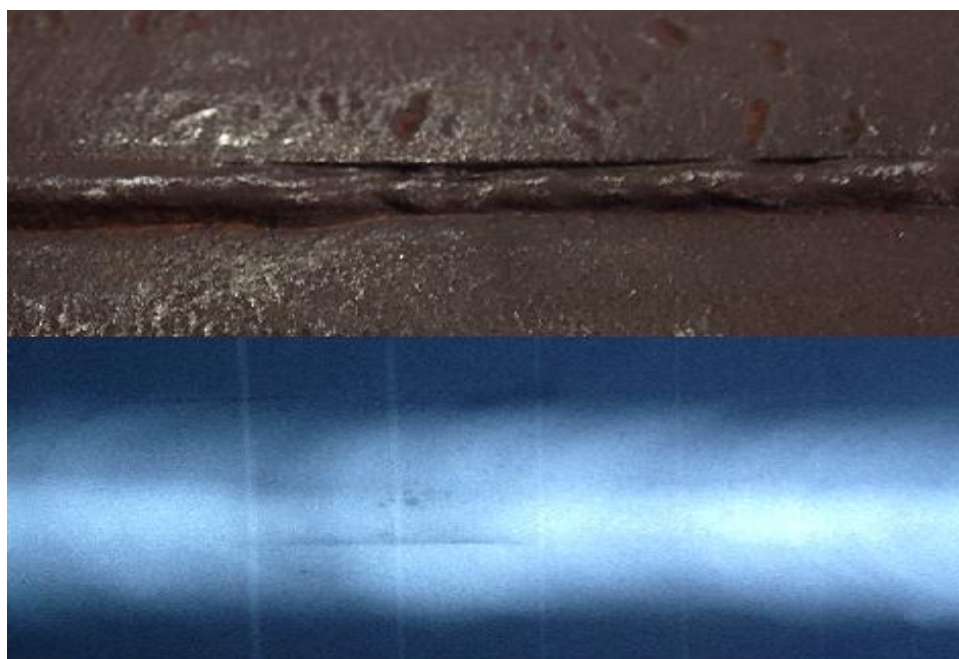
4. Porovnání rozdílu v hodnocení vad 401 a 402.

Tuto vadu jsem vybral, protože se v hodnocení objevovala velmi často a měla zásadní vliv na shodnost operátorů s master sheetem viz tabulka č. 16, kde je vidět že shoda u dvou radiogramů je pouze 20 %.

Hodnocení ovlivňují vady, které mají podobný charakter a způsobují podobnou indikaci, jako je například studený spoj a neprůvar v kořeni. Vada označená EN ISO 5817 jako 401 a 402. Tato vady mohou na radiogramu vyvolávat podobnou indikaci z toho důvodu, že velice často vyskytují v kořeni svarového spoje. Operátoři si je mohou velice často splést.

Pro znázornění je na obrázku č. 30 vzorek svarového spoje označen jako VT 902 ve srovnání s jeho radiogramem. Na obrázku lze vidět, že je zde neprůvar kořene, ale na radiogramu lze pozorovat indikaci vedoucí ke studenému spoji. Rozdíl, zda se jedná o neprůvar či studený spoj není v tomto případě lehké. I když jsou obě tyto vady nominálně nepřipustné, problém může vzniknout v případě povoleného neprůvaru (konstrukční neprůvar), nebo v případě opravy svarového spoje.

Obr. č. 30 Reálný vzorek svarového spoje a jeho radiografický snímek



Zdroj: [foto autor]

Tab. č. 16 Shoda ve vyhodnocení vady 401 a 402

Číslo radiogramu	Shoda	Master sheet	Autor	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	Operátor 4
W037	20 %	401	402	402	401	402	402
W075		402	401	401	401	402	401

Zdroj: vlastní zpracování

V praxi neexistuje vysvětlení, jaká z těchto vad je nebezpečnější a za jakých podmínek. Dle normy EN ISO 10675-1 jsou obě vady ve stupni 1. a 2. nepřipustné. Indikace na radiogramu se však mohou hodnotit z pohledu konstrukčního, kdy je například spojení materiálu pomocí rohového svaru. Tím vznikne neprůvar, který je však povolený.

Na vzniku studeného spoje nebo neprůvaru má vliv sesazení základního materiálu u V svaru. Jakmile jsou spojované materiály blízko u sebe, tak může vzniknout na radiogramu tenká linka uprostřed svaru (dobře poznatelné jako neprůvar). Když je mezera širší, tak se nemusí dojíít k natavení hrany a tím vznikne studený spoj.

Závěr

Protože svarové spoje musí být především bezpečné, je z tohoto důvodu důležité zvolit neoptimálnější metodu a postup svařování vedoucí k určité kvalitě svaru zajištěnou formou nedestruktivních zkoušek. Radiografická metoda je nejpoužívanější pro nedestruktivní kontrolu svarových spojů prozařováním.

Cílem této práce bylo porovnat a vyhodnotit výsledky vyhodnocených radiogramů podle normy EN ISO 10675-1 více operátory a to z hlediska porovnání odchylek mezi jednotlivými operátory.

Hodnocení probíhalo na setech radiogramů sloužící firmě ke školicím účelům. Jednalo se o radiografické snímky svarových spojů o různých tloušťkách. Po vyfiltrování zdrojových dat jsem experiment založil na porovnání operátorů, kteří se skládali z uchazečů o kvalifikaci radiografického zkoušení ve stupni II. a autorem práce. Zdroj dat k porovnání představoval soubor pěti setů po dvanácti snímcích. Každý set hodnotilo pět operátorů.

Z výpočtů bylo zaznamenáno, že výsledky hodnocení jednotlivých operátorů u dvou setů byly přijatelné a u zbylých třech byly odchylky nadlimitní. Z mého šetření vyplynulo, že 73 % procent všech snímků neodpovídalo normě EN ISO 17636-1. Bylo zaznamenáno, že výsledky hodnocení jednotlivých operátorů u dobrých a špatných radiogramů byly srovnatelné. V důsledku častých chyb ve vyhodnocení operátorů u nekvalitních snímků představovala špatně identifikovaná vada, provedl jsem proto další měření, které mělo poukázat na to, jaký ukazatel měl nejvýznamnější vliv na hodnocení operátorů. Na základě provedené analýzy lze určit, že jednotlivé znaky znamenající špatnou jakost radiogramu s pravděpodobností 95 % nemají vliv na četnost a výši odchylek ve vyhodnocení operátorů. Největší extrém v odchylce byl u radiogramů s kombinací špatného zčernání a špatné jakosti obrazu. Navíc jsem v průběhu porovnání zjistil, že největší odchylku mezi operátory způsobovala vada značená podle normy EN ISO 5817 jako 401 a 402. Jedná se o vadu studeného spoje a neprovařeného kořene zobrazující na radiogramu velmi podobnou indikaci.

Srovnání operátorů v této práci nelze brát jako podklad pro další zpracování, protože jednotliví operátoři nebyly způsobilí pro hodnocení radiogramů. Mezi operátory při dané kvalitě radiogramu vznikla nepřijatelná odchylka. Toto porovnání poslouží pouze firmě, která provádí NDT školení. Práce proto poukazuje, jak subjektivní stav jednotlivých operátorů ovlivní výslednou odchylku v hodnocení. Subjektivita operátora je závislá z hlediska fyzické

způsobilosti. Ta je dána očním viděním. Proto pracovník NDT v oblasti radiografie musí být podroben jednou za rok očním testům. Dalším faktorem je použitá technologie. Tím je myšleno použitý negatoskop, průmyslový radiografický film, způsob prozařování nebo například použití digitální radiografie. Poslední a nejdůležitější je zkušenost operátora. Tu lze získat za předpokladu předchozích kritérií a letitou praxí.

Jelikož před samotným experimentem byly vybráni takový uchazeči, kteří prošly očním testem a měli všichni včetně mě stejné podmínky, pak z měření vyplývá, že největší vliv na operátora měla nedostatečná praxe a zkušenosti.

V diplomové práci jsem se také zabýval, jak evropská norma EN ISO 10675-1 a americká norma ASME BPV Code, sekce VIII, divize I. přistupují k hodnocení indikcí na radiogramech svarových spojů. Obě normy jsou v práci porovnány z hlediska přípustnosti jednotlivých vad.

Metodika experimentální práce je použitelná při řešení různých zakázek. Především je nutné při řešení problému několika organizacemi dosáhnout mezi operátory procentuální shodnosti. Dalším posunem a zpřesnění výsledků práce by bylo zapotřebí porovnat radiogramy o mnohonásobně větším počtu (alespoň 1000 snímků) a s více operátory. Dalším úhlem pohledu, kterým by se práce mohla zabývat, je jaký bude mít vliv špatná kvalita radiogramu na rozeznatelnost vad. K ověření, zda vyhodnocení radiogramu je skutečně správné a vypovídající o kvalitě svaru je nutné porovnat radiogram s reálným svarem, který je třeba podrobit kombinaci nedestruktivních a destruktivních zkoušek.

Dalším posun diplomové práce vidím v tom, že kdybych této problematice věnoval další čas a měl k dispozici dostatečné množství prostředků, tak bych se mohl zdokonalit v praxi a interpretovat výsledky tak, že bych mohl na základě statistiky hodnocení v případě střetů názorů řešit vliv špatné kvality radiogramu na rozpoznání jednotlivých typů, počtech a rozměrech vad.

Použitá literatura

- [1] Požadavky na provádění kontroly kvality svarových spojů kovů a termoplastů nedestruktivními metodami. *Česká svářčeská společnost ANB* [online]. Brno, 2008 [cit. 2016-02-15]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=255>
- [2] MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování*. 2. vyd. Praha:, 2003. ISBN 80-7183-285-5.
- [3] ČSN EN ISO 6520-1: *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů - Část 1: Tavné svařování*. Český normalizační institut. 2008.
- [4] HRABÁK, Pavel. *RT – Level II*. [přednáška]. Praha:, 14.1.2016
- [5] ČSN EN ISO 17637: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Vizuální kontrola tavných svarů*. Český normalizační institut. 2011.
- [6] KOUKAL, Jaroslav. ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2005. ISBN 80-248-0870-6.
- [7] KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1986.
- [8] Princip vizuální zkoušky. *ATG s.r.o.* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.atg.cz/ndt-161&display=VT>
- [9] ŠULC, Jan. *Technologická a strojnická měření pro SPŠ strojnické*. 3. oprav. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit., 1986.
- [10] Zkoušky nedestruktivní defektoskopie. *GAMMALUX NDT s.r.o.* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://nabidky.edb.cz/Nabidka-43208-Zkousky-nedestruktivni-defektoskopie>
- [11] ČSN EN ISO 12706: *Nedestruktivní zkoušení - Zkoušení kapilární metodou - Terminologie*. Český normalizační institut. 2010.
- [12] ČSN EN ISO 17638: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení magnetickou metodou práškovou*. Český normalizační institut. 2010.
- [13] Princip magnetické zkoušky. *ATG s.r.o.* [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.atg.cz/ndt-131&display=MT>
- [14] Nedestruktivní defektoskopie. *NDT.cz* [online]. [cit. 2015-11-07]. Dostupné z: http://www.ndt.cz/prilohy/98/rozdeleni_vhodnost_metod.pdf

- [15] ČSN EN ISO 17640: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkoušení ultrazvukem - Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*. Český normalizační institut. 2011.
- [16] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
- [17] ČSN EN ISO 1711: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Zkouška svarů vířivými proudy analýzou komplexní roviny*. Český normalizační institut. 2001.
- [18] Princip metody vířivými proudy. ATG s.r.o. [online]. [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.atg.cz/ndt-151&display=ET>
- [19] HOBST, Leonard. *Základní metody defektoskopie svarů: Speciální kovové konstrukce*. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-900590-2-3
- [20] DUBENSKÝ, Rudolf, Václav MINAŘÍK a František ČERMÁK. *Defektoskopie: Nedestruktivní zkoušení*. 2. přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1992.
- [21] STATON, Jean. *Radiographic testing classroom training book: RT*. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing, 2005. ISBN 1571171207.
- [22] Role fyziky v radiodiagnostice: Interakce záření s látkou, výpočet stínění, vznik RTG záření, spektrum RTG záření. *Slideplayer.cz* [online]. [cit. 2016-01-28]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/1918103/>
- [23] ČSN EN ISO 17636-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Radiografické zkoušení - Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*. Český normalizační institut. 2013.
- [24] ČSN EN ISO 5579: *Nedestruktivní zkoušení - Radiografické zkoušení kovových materiálů s použitím filmu a rentgenového nebo gama záření - Základní pravidla*. Český normalizační institut. 2014.
- [25] Měrky: TESTIMA, spol. s r.o. *Testima.eu* [online]. [cit. 2016-03-09]. Dostupné z: <http://www.testima.eu/merky>
- [26] ČSN EN ISO 19232-1: *Nedestruktivní zkoušení - Kvalita obrazu radiogramů – Část 1: Stanovení hodnot kvality obrazu drátkovými měrkami*. Český normalizační institut. 2014.

[27] ČSN EN ISO 10675-1: *Nedestruktivní zkoušení svarů - Kritéria přípustnosti pro radiografické zkoušení - Část 1: Ocel, nikl, titan a jejich slitiny*. Český normalizační institut. 2014.

[28] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Division 1: *Rules for Construction of Pressure Vessels*. The American Society of Mechanical Engineers. 2015.

Seznam obrázků

Obr č. 1 Schéma postupu NDT zkoušení tlakové nádoby.....	4
Obr č. 2 Měření převýšení svarové housenky.....	7
Obr č. 3 Trhlina ve svarovém spoji.....	8
Obr č. 4 Princip kapilární zkoušky.....	9
Obr č. 5 Princip magnetické zkoušky.....	10
Obr č. 6 Princip odrazové metody – echa.....	11
Obr č. 7 Princip metody vířivých proudů.....	12
Obr č. 8 Schéma principu radiografie, záznam na film.....	14
Obr č. 9 Spektrum rentgenky.....	16
Obr č. 10 Předmětný kontrast.....	17
Obr č. 11 zákon zeslabení.....	19
Obr č. 12 Křivka zeslabení záření.....	20
Obr č. 13 Maximální napětí rentgenky (funkce tloušťky a materiálu).....	21
Obr č. 14 Ovlivňování geometrické neostrosti.....	24
Obr č. 15 Nomogram pro stanovení f_{\min}	26
Obr č. 16 Filmový kontrast.....	27
Obr č. 17 Drátková radiografická měrka.....	28
Obr č. 18 Otvorová radiografická měrka.....	28
Obr č. 19 Umístění měrek na kontrolovaném předmětu.....	29
Obr č. 20 Způsoby prozařování.....	30
Obr č. 21 Postup vyhodnocování kvality výrobku za použití metody RT.....	31
Obr č. 22 Analytický postup vyhodnocení vad.....	33
Obr č. 23 Řádkové okrouhlé indikace.....	39

Obr č. 24 Příklad svarového spoje č. 1	40
Obr č. 25 Příklad svarového spoje č. 2	42
Obr č. 26 Příklad svarového spoje č. 3	44
Obr č. 27 Referenční obrázek náhodně rozptýlených okrouhlých indikací pro rozsah tloušťek od 6 do 10 mm	45
Obr č. 28 Obrázek procentuální plochy vad – 2%	45
Obr č. 29 Způsob porovnávání výsledků	51
Obr č. 30 Reálný vzorek svarového spoje a jeho radiografický snímek	57

Seznam tabulek

Tab č. 1 Nejčastěji používané metody v defektoskopii	6
Tab č. 2 Vztah mezi stupněm kvality a stupněm přípustnosti	34
Tab č. 3 Stupně přípustnosti pro vnitřní indikace tupých svarů	36
Tab č. 4 Okrouhlé indikace	38
Tab č. 5 Porovnání příkladu č. 1	42
Tab č. 6 Porovnání příkladu č. 2	43
Tab č. 7 Porovnání příkladu č. 3	45
Tab č. 8 pór – okrouhlá indikace	46
Tab č. 9 shluk pórů	47
Tab č. 10 Operátoři s odchylkou menší než 8 %	52
Tab č. 11 Procentuální počet dobrých a špatných radiogramů	53
Tab č. 12 Odchylka mezi operátory z hlediska kvality radiogramu	54
Tab č. 13 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (Kvalita radiogramu)	55
Tab č. 14 Odchylka mezi operátory z hlediska špatné kvality radiogramu	55

Tab č. 15 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (Špatná kvalita radiogramu).....	56
Tab č. 16 Shoda ve vyhodnocení vady 401 a 402.....	58

Seznam grafů

Graf č. 1 Závislost součinitele zeslabení na energii záření.....	19
Graf č. 2 Vzdůstové faktory B.....	22
Graf č. 3 Porovnání vady – pór a okrouhlé indikace.....	47
Graf č. 4 Porovnání vady - shluk pórů.....	48
Graf č. 5 Porovnání odchylek operátorů v závislosti na kvalitě radiogramů.....	54
Graf č. 6 Porovnání odchylek operátorů u nekvalitních radiogramů.....	56

Příloha č. 1

číslo setu	číslo radiogramu	Kvalita radiogramu	Autor	Operátor 1	Operátor 2	Operátor 3	Operátor 4	Shoda na daném radiogramu
W4	W032	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W033	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W034	D+IQI	n	a	a	a	a	80%
	W035	-	n	n	a	a	n	40%
	W036	IQI	a	a	a	a	n	80%
	W037	D+IQI	n	n	a	n	n	20%
	W038	-	a	n	a	a	a	80%
	W039	-	n	a	a	a	n	60%
	W040	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W041	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W042	D	a	a	a	a	a	100%
W043	IQI	a	a	a	a	a	100%	
Shoda operátora			67%	75%	100%	92%	67%	
číslo setu	číslo radiogramu	Kvalita radiogramu	Autor	Operátor 5	Operátor 6	Operátor 7	Operátor 8	Shoda na daném radiogramu
W5	W044	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W045	D	a	a	a	a	a	100%
	W046	D	a	a	n	n	a	60%
	W047	-	a	a	a	n	a	80%
	W048	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W049	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W050	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W051	IQI	a	n	n	a	a	60%
	W052	IQI	a	a	n	a	a	80%
	W053	IQI	a	a	n	n	n	40%
	W054	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
W055	IQI	a	a	a	a	a	100%	
Shoda operátora			100%	92%	67%	75%	92%	
číslo setu	číslo radiogramu	Kvalita radiogramu	Autor	Operátor 9	Operátor 10	Operátor 11	Operátor 12	Shoda na daném radiogramu
W6	W056	D	a	n	a	a	a	80%
	W057	IQI	a	n	a	n	a	60%
	W058	D	a	a	a	a	a	100%
	W059	-	a	a	a	n	a	80%
	W060	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W061	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W062	-	a	a	n	a	a	80%
	W063	D+IQI	a	a	a	n	a	80%

	W064	IQI	n	n	a	n	a	40%
	W065	D	a	a	n	a	a	80%
	W066	-	a	a	n	a	a	80%
	W067	-	a	a	a	a	a	100%
	Shoda operátora		92%	67%	75%	67%	100%	
číslo setu	číslo radiogramu	Kvalita radiogramu	Autor	Operátor 13	Operátor 14	Operátor 15	Operátor 16	Shoda na daném radiogramu
W7	W068	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W069	-	a	a	n	n	a	60%
	W070	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W071	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W072	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W073	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W074	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W075	IQI	n	n	n	a	n	20%
	W076	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W077	IQI	a	a	a	a	a	100%
	W078	IQI	a	a	n	a	a	80%
	W079	D+IQI	a	a	n	a	a	80%
	Shoda operátora		92%	92%	67%	92%	92%	
číslo setu	číslo radiogramu	Kvalita radiogramu	Autor	Operátor 17	Operátor 18	Operátor 19	Operátor 20	Shoda na daném radiogramu
W8	W080	D+IQI	a	n	a	a	a	80%
	W081	-	a	a	a	a	a	100%
	W082	D	a	a	a	a	a	100%
	W083	D+IQI	n	a	a	a	a	80%
	W084	-	a	a	a	a	a	100%
	W085	IQI	a	a	n	n	n	40%
	W086	IQI	a	a	a	n	n	60%
	W087	-	a	a	a	a	a	100%
	W088	-	a	a	a	a	a	100%
	W089	D	a	a	a	a	a	100%
	W090	D+IQI	a	a	a	a	a	100%
	W091	IQI	a	a	n	a	a	80%
	Shoda operátora		92%	92%	83%	83%	83%	