

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Mechanické vlastnosti svarových kovů

diplomová práce

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

Autor práce: Jiří Kratochvíl

PRAHA 2013

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Kratochvíl Jiří

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Mechanické vlastnosti svarových kovů

Anglický název

Mechanical properties of welding metals

Cíle práce

Shromáždit literární podklady o svarových materiálech a jejich mechanických zkouškách. Vyhodnocení experimentálních mechanických zkoušek svarových kovů.

Metodika

Současný stav řešeného problému (literární rešerše), cíle práce a metody jejího vypracování, výsledky experimentů a jejich diskuze, závěry a přínos práce.

Osnova práce

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Současný stav problematiky mechanických zkoušek svarových kovů
4. Experimentální zkoušky svarových kovů
5. Závěr
6. Seznam použité literatury

Rozsah textové části

cca 60 stran

Klíčová slova

Elektroda, svar, mechanické zkoušky

Doporučené zdroje informací

BERNASOVÁ, E.: Svařování. Praha, NTL, 1987, 199 s.

ČABELKA, J.: Zvaritelnost kovov a Zlatin. Bratislava, Veda, 1977, 445 s.

HRIVŇÁK, I.: Theory of Weldability of Metals and Alloys. Amsterdam, 1992, 372 s.

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T.: Svařování. Ostrava, V3B, 2005, 133 s.

LANCASTER, J., F.: Metallurgy of welding. Cambridge, 1999, 446 s.

Repair and Maintenance Welding Handbook. ESAB AB. 120 s.

RJABOV, V., R.: Svarka raznorodnych metallov i splavov. Moskva, 1984, 237 s.

ŠORŠOROV, M., CH., ČERNÝŠOVA, T., A., KRASOVSIJ, A., I.: Ispytanija metallov na svarivajemost'. Moskva, Metallurgija, 1972, 240 s.

TROČUN, I., P.: Vnutrennyje usilija i deformacii při svarke. Moskva, 1964, 246 s.

ŽÁK, J., NOVÁK, M.: Teorie svařování. Brno, VUT, 1988, 142 s.

Časopisy: Strojírenská technologie, MM Průmyslové spektrum, TM Svařování – dělení- spojování materiálů, Technik

Firemní literatura: katalogy, prospekty

Vedoucí práce

Hrabě Petr, Ing., Ph.D.

Termín zadání

listopad 2011

Termín odevzdání

duben 2013



prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Petra Hraběte, Ph.D. a použil jen pramenů citovaných v přiložené bibliografii.

Jiří Škratoch
.....

Abstrakt:

Tato práce si klade za cíl poukázat na důležitost provedení dobrých svarových spojů, protože jen kvalitní svarový spoj předchází vzniku a rozvoji trhlin a tím je zabezpečena jedna z podmínek pro dlouhou a bezporuchovou životnost dané konstrukce. Jakostní svar není jen otázkou přídavných a svařovaných materiálů, ale i zručnosti svářeče při ručním či polostrojním provádění svarů. Hodnocení svařitelnosti se provádí pomocí ukazatelů celistvosti svarových spojů a ukazatelů mechanických vlastností svarových spojů pomocí různých technologických zkoušek.

Mezi zkoušky mechanických vlastností svarových kovů lze zařadit zkoušku rozlomením koutových svarů a svarů provedených na tupo. Tato zkouška rozlomením se provádí ve svářečských školách a slouží pro certifikaci svářečů.

Byla sledována četnost výskytu jednotlivých vad svarových spojů na plechu (ocel S235JRG2) a hledána možná závislost výskytu těchto vad na použité svařovací metodě 111 a 135.

Klíčová slova: elektroda, svar, mechanické zkoušky.

Mechanicals properties of welding metals

Summary:

This dissertation aims to point out the importance of high quality weld joints design, because only such a good weld connection prevents formation and development of cracks and thereby there is guarantee of long and faultless durability of the welded structure. High quality welds are not only affected by welding consumables and welded materials but also skill of welder in hand or half-machine welding is important. Weldability is assessed through indicators of weld joints integrity and indicators of mechanical properties verified using various technological tests.

Among tests of mechanical properties of welding materials can be sorted the breakage test of fillet welds and butt welding as well. This breakage test is performed at welding schools and also used for the certification of student welders.

There was observed the occurrence frequency of individual defects on the sheet metal (steel S235JRG2) and searched for possible dependency of occurrence of such defects between used weld methods 111 and 135.

Key words: electrode, weld, mechanical tests.

Obsah

1. Úvod	8
2. Cíl práce a metodika	9
3. Současný stav problematiky mechanických zkoušek svarových kovů	9
3.1. Svařitelnost	9
3.1.1. Svařitelnost nelegovaných ocelí	10
3.2. Struktura svaru	11
3.3. Zkoušky svařitelnosti	13
3.4. Ukazatelé celistvosti svarových spojů	13
3.4.1. Odolnost proti praskání za studena	13
3.4.2. Odolnost proti praskání za tepla	20
3.4.3. Odolnost proti žíhací praskavosti	26
3.4.4. Odolnost proti lamelární praskavosti	30
3.5. Ukazatelé mechanických vlastností svarových spojů	34
3.5.1. Příčná zkouška tahem	34
3.5.2. Zkouška rázem v ohybu	35
3.5.3. Zkouška ohybem	36
3.5.4. Zkoušky tvrdosti	37
3.5.5. Zkouška únavové pevnosti	38
3.5.6. Zkouška rozlomením	40
4. Experimentální zkoušky svarových kovů	42
4.1. Svářečská škola	42
4.2. Zkouška rozlomením koutového svaru	42
4.2.1. Postup zkoušky	44
4.2.2. Vyhodnocení zkušebních vzorků	45
4.2.3. Vizuální kontrola koutového svaru dle EN 970	46
4.2.4. Vyhodnocení vad svaru po rozlomení dle ČSN EN 1320	50
4.2.5. Závislost vad koutových svarových spojů před a po rozlomení	53
4.3. Zkouška rozlomením svarů na tupo	54

4.3.1. Postup zkoušky	55
4.3.2. Vyhodnocení zkušebních vzorků	57
4.3.3. Vizuální kontrola svaru na tupo dle EN 970	57
4.3.4. Vyhodnocení vad svaru po rozlomení dle ČSN EN 1320	64
4.4. Příčiny vad a opatření k jejich zamezení	66
5. Závěr	68
Použité zdroje	70
Seznam doporučených norem	73
Seznam tabulek, obrázků a fotografií v příloze 9	74
Seznam příloh	77

1. Úvod

Svařováním zhotovujeme pevné a nerozebíratelné spoje kovových součástí. Tyto součásti často nahrazují těžké odlitky či výkovky. Srovnáme-li svařování s nýtováním (nýtovaný spoj většinou zeslabuje materiál a vyžaduje přeplátování stykových částí) tak zjistíme, že správně navržené a zhotovené svařované konstrukce jsou oproti nýtovaným či litým lehčí a jednodušší. To co se dříve odlévalo se dnes může vyrábět svařováním – ozubená kola, rámy strojů, stojany, aj.

Vyhotovený svarový spoj musí být bezpečný s vlastnostmi odpovídajícími základnímu svařovanému materiálu. Na jakosti sváru se tak podílí základní kov, přídatný materiál, metalurgické procesy vyvolané vlastním svařováním a v neposlední řadě i tepelně-deformačně ovlivněná oblast základního materiálu. Výsledná kvalita svaru je dána již návrhem svařované konstrukce, výběrem základního materiálu (např. sklon k praskavosti) a vlastní výrobou. Proto je v podnicích ustanoven svářečský dozor zajišťující požadovanou kvalitu. Odpovědnost za řízení kvality má vedení podniku, kde svářečský dozor (svářečský inženýr, technolog, specialista) se starají, aby svařování probíhalo s ohledem na systém kvality. Jednotliví svářeči pak musejí mít příslušnou kvalifikaci na příslušnou metodu svařování a svařovaný kov.

Kvalita zhotovených svařených výrobků se zkouší jak destruktivními, tak nedestruktivními zkouškami. Tyto zkoušky jsou mimo jiné povinné i pro certifikační zkoušky svářečů, na které jsou připravováni certifikovanými organizacemi (svářečskými školami) a vlastní přezkoušení svářečů provádí nezávislý zkušební orgán (organizace).

Destruktivní mechanické zkoušky představují poměrně levnou, rychlou, dostupnou a běžně používanou metodu hodnocení svářečů a svarových materiálů ve svářečských školách. Vyhodnocením výsledků těchto zkoušek pro různé metody svařování můžeme získat i informace o vhodnosti jednotlivých metod svařování s ohledem na jakost zhotoveného spoje.

2. Cíl práce a metodika

Práce je věnována hodnocení svařitelnosti nelegovaných ocelí, struktura výsledného svaru a destruktivním zkouškám svarových spojů, tj. jaké zkoušky se provádějí při hodnocení celistvosti svarových spojů a jakými zkouškami se hodnotí mechanické vlastnosti svarových spojů. Tyto základní informace byly čerpány z dostupné odborné literatury a internetu.

Praktická část práce je zaměřena na vyhodnocení zjištěných vad koutových svarů a svarů na tupo při destruktivních zkouškách rozlomením, které se prováděly během jednoho roku ve svářečské škole v rámci úředních zkoušek svářečů dle evropských norem. Rozborem četnosti výskytu vad svarů, které snižují výsledné mechanické vlastnosti svarových spojů, zjistíme, jestli použité dvě rozdílné metody svařování (111 a 135) měly vliv na zjištěné vady svarových spojů zkušebních vzorků (plech, ocel S235JRG2).

3. Současný stav problematiky mechanických zkoušek svarových kovů

Se svarovými materiály se můžeme setkat nejenom ve formě čistých kovů, ale především ve formě slitin, kde požadované vlastnosti jsou dány kombinací různých kovů či kombinací kov-nekov. Vlastnosti těchto slitin lze dále měnit např. plastickou deformací (za tepla, za studena), tepelným zpracováním a tím lze překonat vlastnosti čistých kovů, které jsou jinak pro ně nedosažitelné.

Z technologických vlastností je pro tyto materiály určující jejich svařitelnost.

3.1. Svařitelnost

Jak uvádí KUNCIPÁL [9, s. 172] ... *je svařitelnost hodnocena jako způsobilost materiálu, která umožňuje vytvořit za jistých podmínek svařování spoje požadovaných vlastností.* Svařitelnost lze hodnotit podle tří různých hledisek, MACEK [10, s. 98]:

- *technologická – závisí na technologii a parametrech svařování*

- *metalurgická – závisí na složení, struktuře svařovaného materiálu, dilatacích a pnutí vzniklých v procesu svařování*
- *konstrukční – závisí na tvarovém vyřešení svarového spoje.*

Hodnocení svažitelnosti se provádí dvěma skupinami ukazatelů (ČSN 051309):

- **ukazatele celistvosti svarových spojů** – charakterizují odolnost svarových spojů ke vzniku trhlin a jiných nepřijatelných chyb
- **ukazatele vlastností svarových kovů** – charakterizují změny jednotlivých mechanických vlastností kovu v oblasti svarového spoje v důsledku svařování.

Hodnocení svažitelnosti pak charakterizuje kov jako **vhodný**, popř. **nevhodný pro svařování** a je uváděno v technicko dodacích předpisech příslušných materiálů.

3.1.1. Svažitelnost nelegovaných ocelí

Hodnocení svažitelnosti ocelí je v normě ČSN 051309; svažitelnost vyjadřuje vhodnost kovu na výrobu svařenců při určité technologii a konstrukční spolehlivosti spoje.

Svažitelnost nelegovaných uhlíkových konstrukčních ocelí (třídy 10, 11, 12) je především ovlivněna obsahem uhlíku. Roste-li obsah uhlíku, zvyšuje se pevnost, tvrdost, ale klesá houževnatost, BERNASOVÁ [4, s. 27].

Podmínky svažitelnosti:

- je-li obsah uhlíku v oceli $C \leq 0,22 \%$ a tloušťka oceli je menší než 25 mm, vnější teplota nad $0 \text{ }^\circ\text{C}$, pak lze svařovat bez předehřevu
- je-li obsah uhlíku v oceli $0,22 \% \leq C \leq 0,8 \%$, pak se musí provádět předehřev (pro snížení rychlosti ochlazování a tím i rizika zakalení)
- pro obsah uhlíku v oceli $C > 0,8 \%$ se používá předehřev, velikost teploty předehřevu lze stanovit např. dle Séferiána (tyto oceli se obtížně svařují); výpočet dle Séferiána je vhodný pro uhlíkové a nízkolegované oceli.

Tyto oceli jsou kalitelné od obsahu uhlíku 0,25 % a více. Kvalitní oceli mají součtový obsah uhlíku a fosforu menší než 0,1 %.

Tab. 1 Doporučené teploty předehřevu uhlíkových ocelí

Obsah uhlíku v hm. %	Teplota předehřevu ve °C
0,20 ÷ 0,30	100 ÷ 150
0,30 ÷ 0,45	150 ÷ 275
0,45 ÷ 0,80	275 ÷ 425

Zdroj: ANB (Česká svářečská společnost). *Materiály a jejich svařitelnost*. 2. upravené vydání. Ostrava: ZEROSS, 2001. 294 s. ISBN 80-85771-85-3. s. 115

Jak uvádí ANB [15, s. 115] ... *Při svařování nelegovaných ocelí se musí počítat s tím, že uhlík v TOO (tepelně ovlivněná oblast) způsobuje zvýšení tvrdosti, současně snižuje plasticitu, takže vzniklá vnitřní pnutí mohou vést ke vzniku trhlin. Připouští se 350 HV jako maximální tvrdost TOO. Této tvrdosti se dosáhne při 50 hm. % obsahu martenzitu ve struktuře a při obsahu uhlíku 0,25 hm. %.*

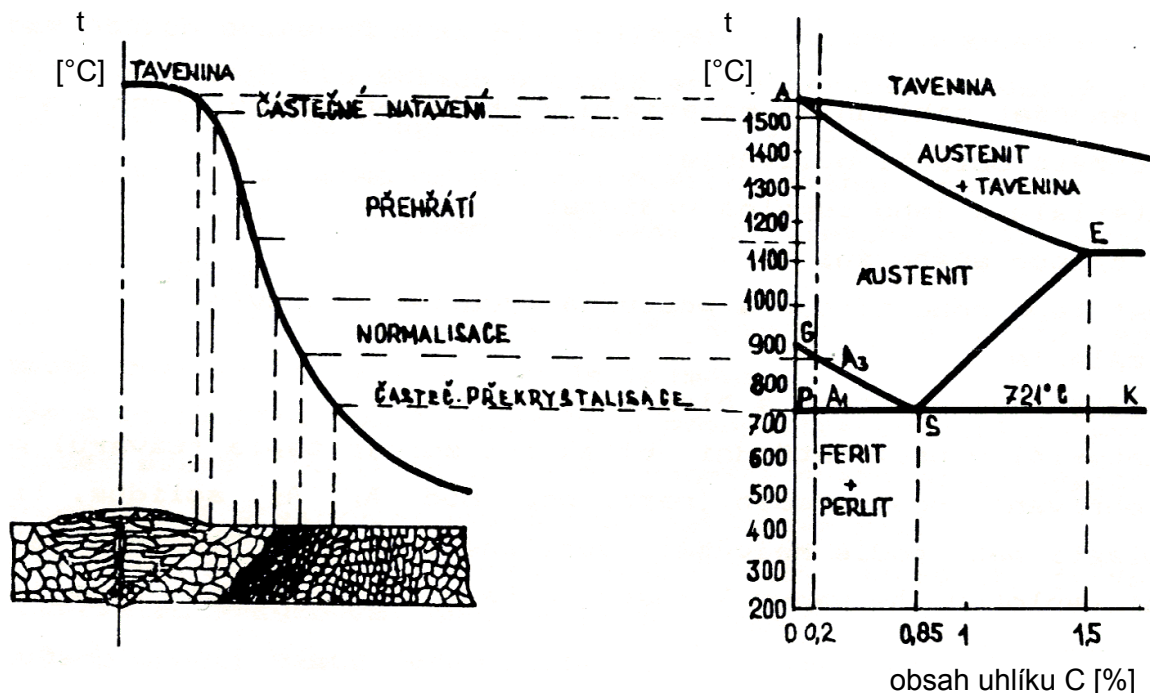
3.2. Struktura svaru

Při svařování dochází k tavení základního materiálu a výsledný svarový kov se tudíž skládá ze základního a přídavného materiálu. Podíl nataveného základního materiálu se nazývá **promísení**. Kořenové housenky vykazují větší stupeň promísení než zbylé výplňové vrstvy (např. u ručního obloukového je to 10 ÷ 40 %), ale u některých technologií je svarový kov tvořen jen nataveným základním kovem (za použití elektronového paprsku, aj.).

Jak uvádí MACEK [10, s. 98] ... *Svarový spoj je tudíž nutno chápat z hlediska zkoušení svařitelnosti jako celek s tepelně ovlivněnou oblastí. Jelikož dochází ke vzniku přechodového pásma, jak uvádí NĚMEC [13, s. 9] ... V roztavené oblasti materiálu u hran svařovaného tělesa vzniká úzké přechodové pásmo..., které po vychladnutí vykazuje martenzitickou strukturu nebo z ní odvozenou se zvýšenou tvrdostí a sníženou lokální houževnatostí..., proto se posuzuje svar jako strukturní vrub. Svarové spoje musí vyhovovat všem požadavkům na požadované mechanické vlastnosti, a tak technologické zkoušky svařování jsou zaměřeny na určení odolnosti svaru proti vzniku trhlin za tepla a za studena; také se hodnotí u svaru a základního materiálu náchylnost ke zkřehnutí.*

Je nutné počítat s tím, že u ocelí může při svařování dojít ke změnám materiálových vlastností, jako je odolnost proti korozi, žárupevnost, aj.

Obr. 1 Vliv tepelného účinku svařovacího procesu na strukturu svarového spoje s přeměnou ferit – austenit



Zdroj: NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1996. 227 s. ISBN 80-01-01420-7. s. 144

Poznámka: při svařování kovů bez polymorfni přeměny (hliník, nikl, měď) nedochází ke změně mikrostruktury a probíhají jen substrukturní změny, jako je rekrystalizace, růst zrn.

Popis jednotlivých oblastí:

- částečné natavení – tato oblast tvoří přechod z tepelně ovlivněné oblasti do svarového kovu
- přehřátí – u nelegovaných ocelí je to teplota asi 1050°C, pro mikrolegované až 1300°C; vlivem přehřátí se zvětšuje velikost zrna a dochází k výraznému poklesu mechanických vlastností
- normalizace – v této oblasti dochází k normalizačnímu vyžhání a při teplotách těsně nad A_3 je zrno nejjemnější a stejnorodé

- částečná překrystalizace – v tomto rozmezí teplot $A_1 \div A_3$ dochází k rozdrobování zrna.

Poznámka: jednotlivé skupiny materiálů mají při svařování svá určitá specifika, např. u nízkouhlíkových ocelí v oblasti, kde se již struktura zrn nemění, může dojít k mechanickým změnám materiálu důsledkem stárnutí, které bylo vyvoláno volnými interstitickými přísadami, např. rozpuštěným dusíkem ve feritu oceli.

3.3. Zkoušky svařitelnosti

Hodnocení svařitelnosti se provádí pomocí ukazatelů celistvosti svarových spojů a ukazatelů mechanických vlastností svarových spojů.

3.4. Ukazatelé celistvosti svarových spojů

Pro hodnocení svařitelnosti dle ČSN 05 1309 se užívá ukazatelů celistvosti svarových spojů, které charakterizují odolnost svarových spojů ke vzniku trhlin a jiných nepřípustných chyb a stanovují se jednotlivými předepsanými zkouškami svarových kovů.

3.4.1. Odolnost proti praskání za studena

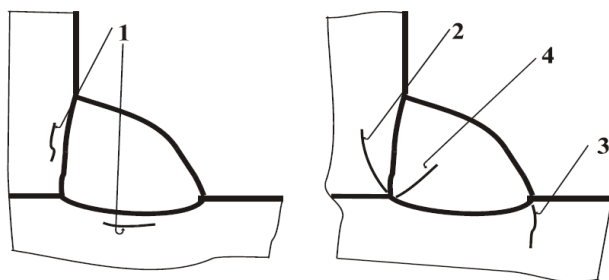
Zkoušky odolnosti proti praskavosti za studena vychází z normy ČSN EN ISO 17642, kdy se na předepsaných vzorcích za různých podmínek svařování provádí svar nebo návar. Výskyt trhlin se provádí metalograficky. Studené trhliny vznikají účinkem vodíku při teplotách cca pod 200 °C (tj. pod teplotou transformace Ms^1 nebo Bs^2 v procesu chladnutí nebo v časovém odstupu po vychlazení spoje jako zbrzděné trhliny).

Nejčastěji se vyskytují v podhouseňkové oblasti svarů ocelí, ale i v kořenu svaru, nebo přímo ve svarovém kovu. Orientace transkrystalických studených trhlin může být všemi směry přes svar, vyznačují se lesklým povrchem.

¹ Ms – martenzit start viz BENEŠ [3, s. 158]

² Bs – bainit start viz MACEK [10, s. 116, 117]

Obr. 2 Výskyt studených trhlin koutových svarů

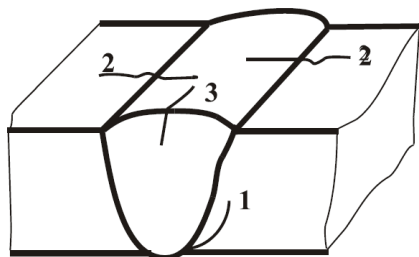


- 1 – podhouseňková
- 2 – kořenová
- 3 – z úpatí
- 4 – ve svarovém kovu

Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Obr. 3 Výskyt studených trhlin v tupém svarovém spoji



- 1 – podélné kořenové
- 2 – příčné
- 3 – podélné ve svarovém kovu

Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Faktory vzniku studených trhlin:

- vodík ve svarovém spoji (vliv vlhké elektrody, aj.)
- struktura citlivá na účinek vodíku (tj. martenzit nebo dolní bainit)
- zbytková tahová napětí
- nízké teploty předehřevu s nízkými tepelnými příkony (tj. množstvím tepla spotřebovaného elektrickým obloukem na jednotkovou délku svaru při obloukové technologii svařování).

Obr. 4 Studená trhlina



Zdroj: <http://www.cws-anb.cz/docu/clanky/0003/000384o2.jpg>

Faktory zamezující vzniku trhlín:

- používat suché přídavné materiály (dosoušet), zabránit jejich navlhnutí
- správné používat ohřev, používat vyšší měrný příkon při svařování nebo způsob svařování (kaskádové svařování)
- vyvarovat ostrých vad zejména v kořenové vrstvě - neprůvarům, studeným spojům, zápalům.

Experimentální zkoušky praskavosti lze dělit:

- na zkoušky s použitím reálného svařování
- na zkoušky se simulovaným svařovacím cyklem (lze provádět na simulátorech svařování Thermorestor, Gleeble, Smit-weld)
- na zkoušky s vlastní tuhostí (zkouška Tekken, Lehigh, CTS, křížová, aj.)
- na zkoušky s vynucenou tuhostí (zkouška Implant).

Poznámka: jelikož vznik studených trhlín souvisí s prokalitelností (transformačním zkřehnutím v tepelně ovlivněné oblasti), tak lze hodnotit náchylnost ocelí k studeným trhlinám parametrickými rovnicemi, které zohledňují chemické složení ocelí, vliv difúzního vodíku, vliv tuhosti svařovaného spoje. Tato náchylnost se např. vyjadřuje uhlíkovým ekvivalentem $C_{e(IIW)}$ dle IIW/IIS (Mezinárodní svářečský

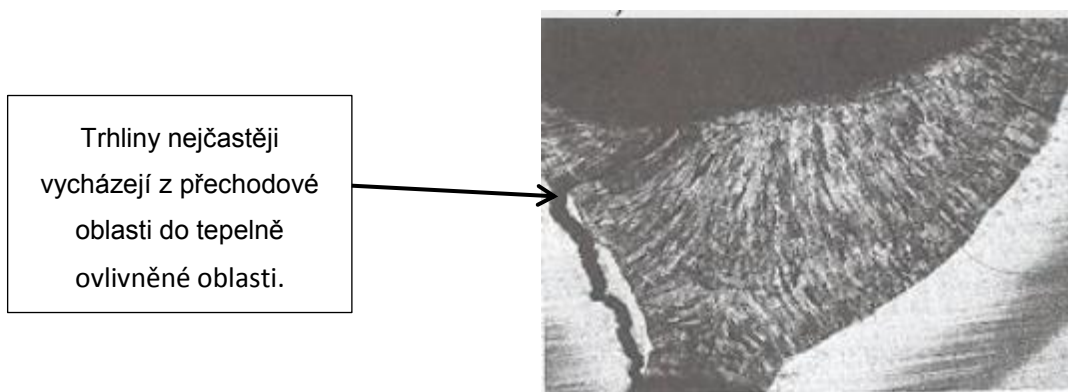
institut), nebo parametrem praskavosti P_w ; výpočty parametrů např. uvádí KOLAŘÍK [17].

Zkouška Tekken

Tato zkouška, která je určena k stanovení náchylnosti tupých svarových spojů k trhlinám za studena, je založena na dilataci svařovaných plechů, kdy se svařuje s teplotami předehřevu, určenými z diagramu anizotermního rozpadu austenitu svařované oceli. Svařuje se konstantním příkonem s měnící se teplotou předehřevu nebo naopak s měnícím se tepelným příkonem při svařování (tepelný příkon může nahradit teplotu předehřevu). Zvýšený tepelný příkon – předehřev – prodlužují ochlazovací dobu v intervalu teplot 350 až 150 °C za současné difúze vodíku do okolní atmosféry.

Vyhodnocení trhlin se provádí metalograficky na příčném řezu.

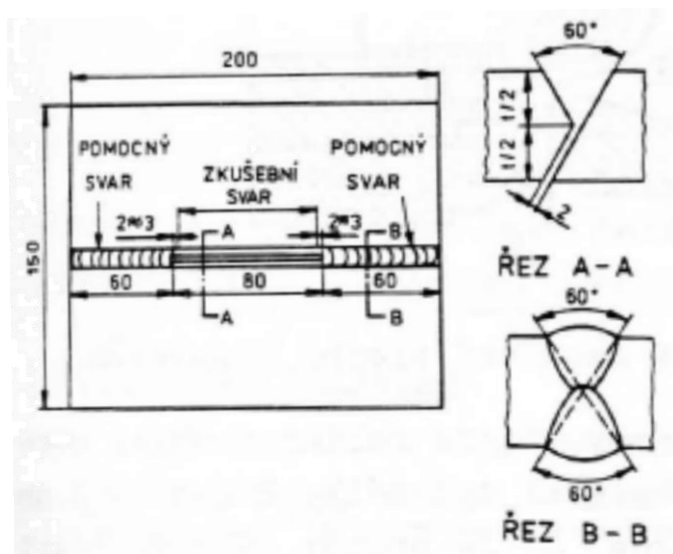
Obr. 5 Příčný řez studenou trhlinou



Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

Tato zkouška se používá jako technologická pro kořenovou oblast tupých svarů, při obloukových metodách svařování a při svařování pod tavidlem pro tloušťky plechů od 12 mm až do 150 mm.

Obr. 6 Zkouška Tekken



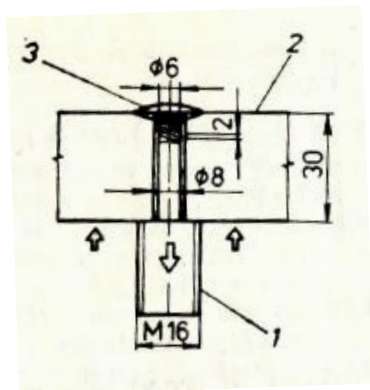
Zdroj: MACEK, K., et al. *Nauka o materiálu*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 209 s. ISBN 80-01-01507-6. s. 99

Zkouška Implant

Tato zkouška, která je určena ke stanovení náchylnosti tupých svarových spojů k trhlinám za studena, kdy má zkoušená ocel tvar válečku $\varnothing 6$ mm nebo $\varnothing 8$ mm a vkládá se do otvoru základní desky tloušťky $20 \div 30$ mm, jež je vyrobena ze stejné nebo podobné oceli jako zkoušené tělísko implant. Zkoušená tělíska jsou opatřena vrubem o hloubce 0,5 mm s rozevřením 40° . A Jak uvádí ANB [15, s. 107, 108] ... *Poloha vrubu závisí na podmínkách svařování a má se volit tak, aby se vrub dostal do TOO, kde jsou teploty $\sim 1000^\circ\text{C}$. Úloha vrubu spočívá v tom, aby při zatížení válečku vytvořil koncentrátor napětí při iniciaci vodíkové trhliny. Někdy se volí vrub ve formě závitů a to u ocelí s úzkou TOO (při použití laserového svařování, ZATLOUKAL [24]).*

Tělísko se zatěžuje po vychladnutí ($350 \div 100^\circ\text{C}$, podle druhu materiálu), kdy se při přesně definovaných ochlazovacích rychlostech (čas ochlazení Δt 800 až $500^\circ\text{C}/6, 10, 20$ s) určí kritické napětí, kdy se lom neprojeví. Touto zkouškou lze porovnat oceli a vybrat pro ně elektrody a podmínky svařování, za kterých se trhliny nevyskytují.

Obr. 7 Zkouška Implant



1 – zkušební tělísko

2 – zkušební deska

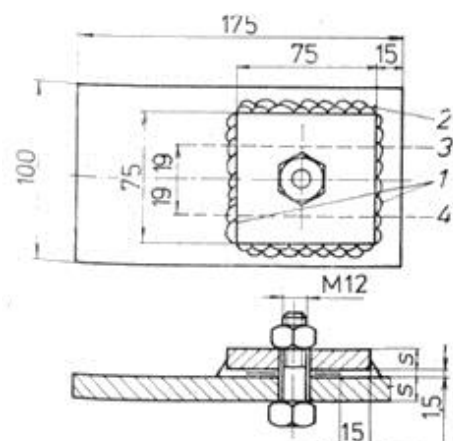
3 – zkušební návar

Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 14

Zkouška CTS

Tato zkouška je vhodná pro určování náchylnosti jednostranných koutových svarů k tvorbě trhlin za studena a při tom se hledají takové parametry svařování, při kterých trhliny za studena ještě nevznikají.

Obr. 8 Zkouška CTS



1 – zkušební svar (pořadí svařování: druhý svar okraj desky)

2 – pomocný svar

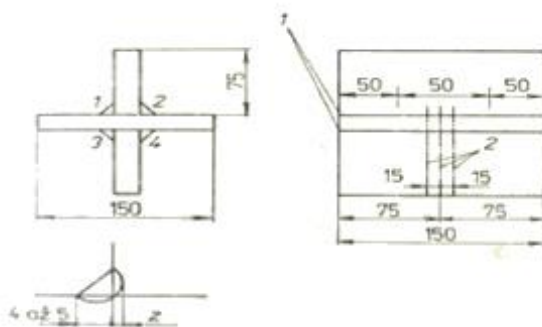
3 a 4 - řezy

Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 145

Křížová zkouška

Zkouška slouží k posuzování odolnosti koutových svarů proti vzniku trhlin za studena. Po svařování se zkoušený materiál rozřeže do 24 hodin kolmými řezy k osám svarů a vyhodnotí se případné trhliny. Hledají se takové parametry svařování, při kterých trhliny za studena ještě nevznikají.

Obr. 9 Křížová zkouška

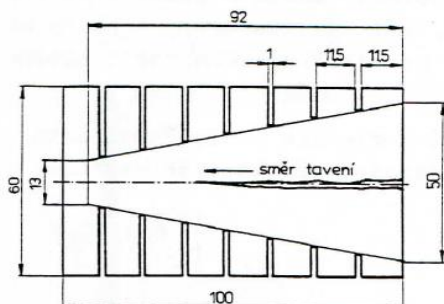


Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 145

Zkouška praskavosti tenkých plechů

Při této zkoušce se hodnotí na vzorcích, u kterých se mění tuhost podél osy svaru (nebo návaru). Toho se docílí pomocí speciálních přípravků nebo se na vzorku vyhotoví zářezy rozdílné hloubky. Vyhodnocuje se délka vzniklé praskliny, která je pak měřítkem praskavosti.

Obr. 10 Zkouška praskavosti tenkých plechů

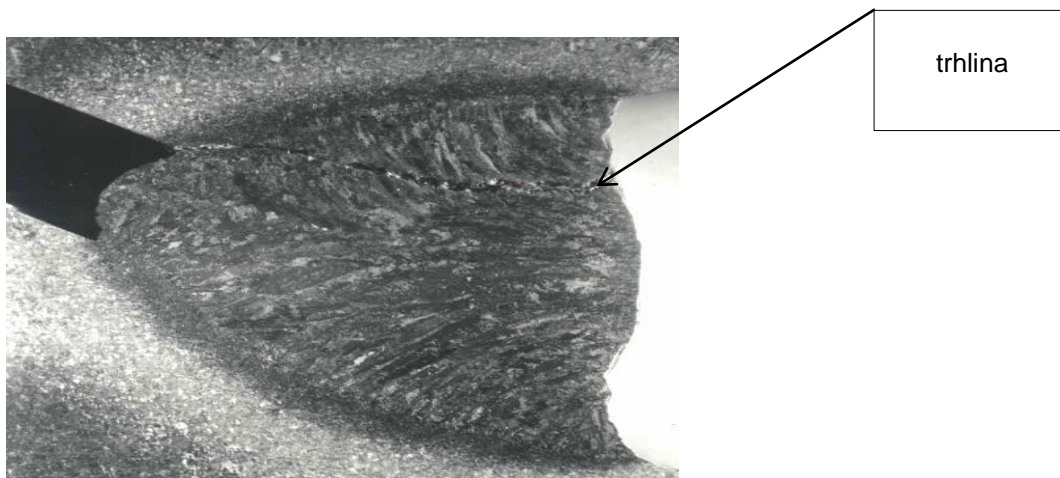


Zdroj: MACEK, K., et al. *Nauka o materiálu*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 209 s. ISBN 80-01-01507-6. s. 99

3.4.2. Odolnost proti praskání za tepla

Zkoušky odolnosti proti praskavosti za tepla vycházejí z normy ČSN EN ISO 17641 a lze je rozdělit na zkoušky s vynucenou a vlastní tuhostí, kdy je využito tahové napjatosti (deformace), její rychlosti nebo kontrakce v oblasti vysokých teplot těsně pod solidem (až 1000 °C). Vzorky svařenců na tupo jsou zatěžovány tahem nebo ohybem různými rychlostmi deformace. Zátěžná síla působí proti smršťování svaru. Hodnocení trhlin se provádí vizuálně.

Obr. 11 Horká trhlina



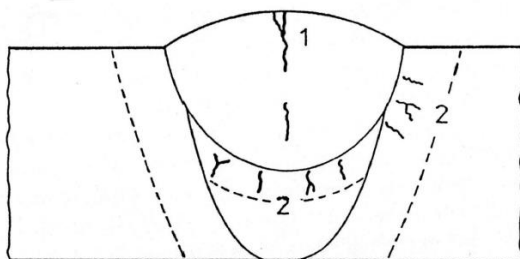
Zdroj: <http://www.cws-anb.cz/docu/clanky/0003/000384o3.jpg>

Hlavní příčinou vzniku těchto trhlin je snížení deformační schopnosti zrn kovu a pokles soudržnosti po hranicích zrn. Tyto trhliny vznikají v tepelném intervalu a mají interkrystalický charakter se zoxidovaným – matným povrchem.

Trhliny dělíme na:

- krystalizační – vznikají ve svarovém kovu v průběhu tuhnutí, tj. v průběhu krystalizace
- likvační – vznikají ve vysokoohřátém podhousenkovém pásmu teplem ovlivněné oblasti základního materiálu, nebo v několikavrstvém svarovém kovu
- polygonizační – tj. trhliny z poklesu tažnosti, vznikají jako likvační v TOO základního materiálu, nebo ve svarovém kovu při nižší teplotě (~850 °C) než jsou krystalizační; tyto trhliny lze nalézt u vysokolegovaných austenitických ocelí a slitin niklu.

Obr. 12 Krystalizační a likvační trhлина



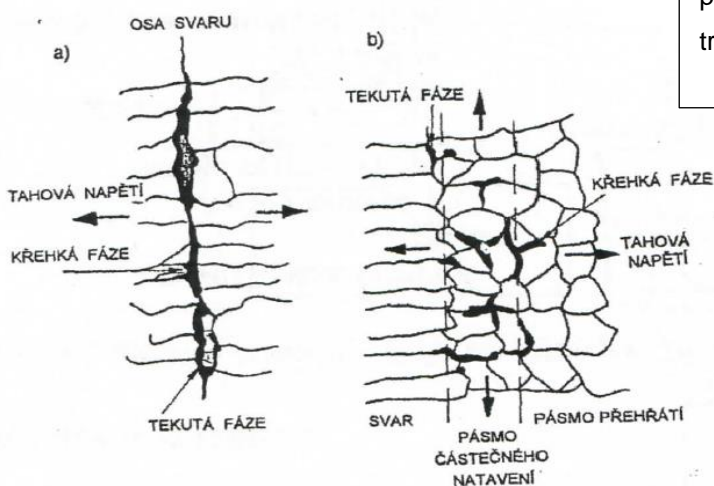
- 1 – krystalizační trhлина
- 2 – likvační (polygonizační) trhлина

Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Hlavní příčinou vzniku trhlin za tepla je síra, fosfor, kyslík, jejichž fáze za vysokých teplot segregují, natavují se a v roztaveném stavu likvují nebo složky difundují ke hranicím zrn. Jak uvádí KUNCIPÁL [9, s. 136] ...*Ve svarových kovech z hlediska eliminace účinku síry se s výjimkou příznivého účinku manganu osvědčilo vázání síry na titan a zirkon.*

Obr. 14 Oblast vzniku krystalizační trhliny v místech rostoucích dendritů (a) a na hranicích buněk (b)



Dendritická krystalizace podporuje riziko vzniku trhlin za tepla.

Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

Faktory zamezující vzniku trhlin za tepla:

- snížení měrného tepelného příkonu svařování
- používat přídavné materiály o vysoké čistotě
- předehřev
- používat dostatečný průřez u kořenových housenek.

Náchylnost k tvorbě trhlin lze orientačně určovat parametrickými rovnicemi na základě vypočtených parametrů H.C.S., U.C.S. a doplňovacího parametru HV (maximální tvrdost podhousenkové oblasti), blíže KUNCIPÁL [9, s. 137, 138].

Zkoušky náchylnosti k trhlinám za horka lze rozdělit na:

- zkoušky technologické – Transvarestraint, Implant
- zkoušky laboratorní – M-LTP-1-6, simulace svářecích cyklů.

Zkouška Transvarenstraint

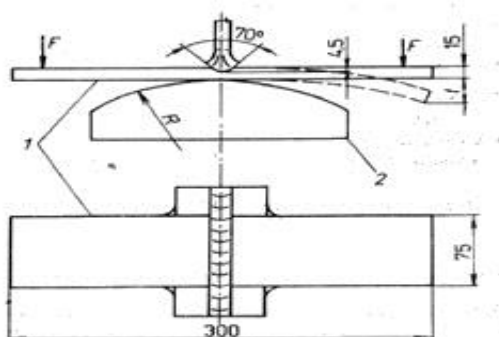
Tato zkouška využívá skutečný svařovací cyklus s aplikací ohybového napětí kolmému na směr svařování. Hodnocení je závislé na velikosti deformace ε horní části návaru vzorcem:

$$\varepsilon = \frac{s}{2 \cdot R} \quad [-]$$

kde: s ... tloušťka plechu [mm]

R ... poloměr ohybu [mm].

Obr. 14 Zkouška Transvarenstraint



1 – zkušební vzorek

2 – přípravek pro ohyb vzorku

F – ohybová síla (velký ráz)

Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 138

Zkouška Implant

Jedná se o zkoušku se skutečným svařovacím cyklem, kterou lze využít jak pro určování náchylností k tvorbě trhlin za studena tak za horka.

Při zkoumání trhlin za horka je zkušební tělísko okamžitě zatěžováno po jeho přivaření a výsledkem je mezní napětí, při kterém se v závislosti na svařovacích podmínkách trhliny již nevyskytují.

Zkouška M-LTP-1-6

Tato zkouška slouží k hodnocení krystalizační praskavosti, kdy se zvolenou metodou svařování navaří housenka mezi dvě části zkušební vzorku, které se začnou v průběhu svařování od sebe odtažovat zkušební rychlostí tahové deformace.

Kritériem je maximální rychlost tahové deformace v_d [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$], při které na čtyřech opakovaných vzorcích nevznikne krystalizační trhlina.

Ocel se pak zařazuje do jednoho ze tří stupňů odolnosti.

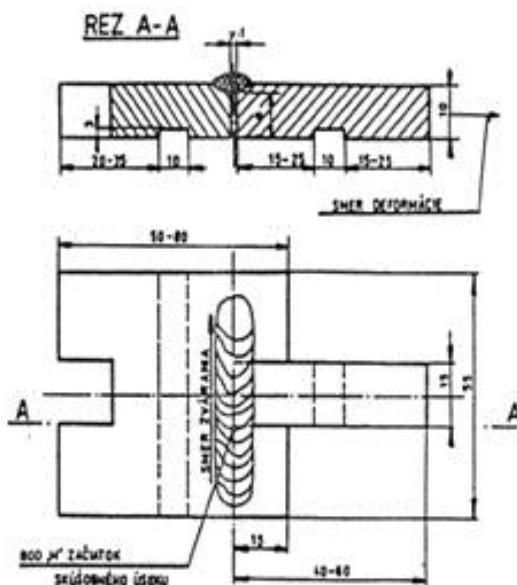
Tab. 2 Stupně odolnosti ocelí

$\text{tg } \alpha_k$ [$\text{mm}/100 \text{ } ^\circ\text{C}$]	v_d [mm/s]	Hodnocení oceli
$> 1,6$	$> 0,1$	Stupeň 1: ocel odolná proti vzniku horkých trhlin bez zvláštních podmínek při svařování
$0,6 \div 1,6$	$0,033 \div 0,1$	Stupeň 2: ocel částečně náchylná ke vzniku horkých trhlin, svařovat lze při dodržení předepsaných podmínek
$< 1,6$	$< 0,033$	Stupeň 3: ocel náchylná ke vzniku horkých trhlin

Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Obr. 15 Zkouška krystalizační praskavosti



Zdroj:

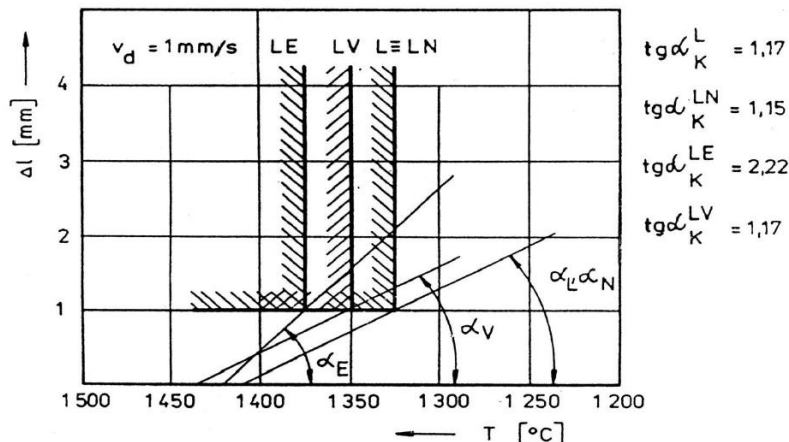
http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Zkouška simulace svářecích cyklů

Tato zkouška slouží pro vyhodnocení náchylnosti ocelí k horkým likvačním trhlinám, kdy se při zvolených teplotách v průběhu ochlazovací fáze teplotního cyklu podhousenkového pásma, zkušební vzorek ($\varnothing 7$ mm) zatěžuje tahovou deformací o velikosti 1 až 4 mm (při rychlosti deformace $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$). Po vychladnutí se hodnotí výskyt trhlin a vykreslí se nebezpečná oblast vzniku likvačních trhlin.

Kritériem zkoušky je hodnota tangenty úhlu α_K , který svírá tečna vynesená od teploty solidu oceli k hranici nebezpečné oblasti s osou.

Obr. 16 Vyhodnocení likvační praskavosti



Zdroj:

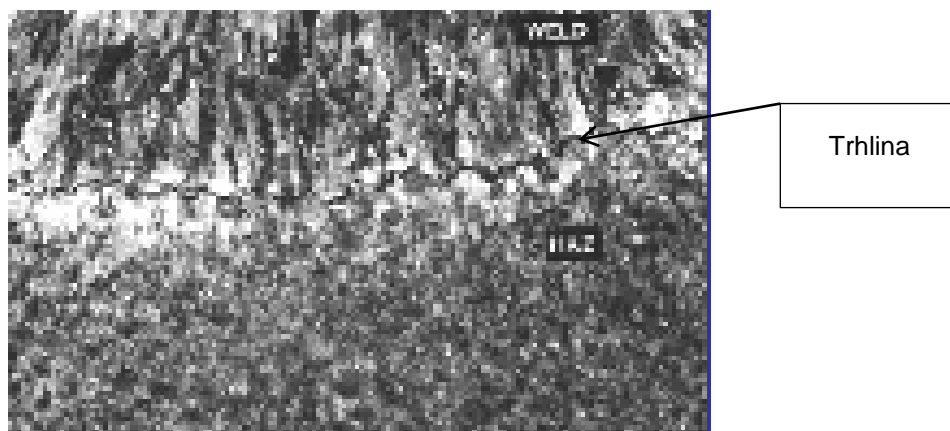
http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

3.4.3. Odolnost proti žíhací praskavosti

Zkoušky vycházejí z normy ČSN 051144 a sleduje se vliv žíhání na svařených objektech, na kterých se vyhodnocení provádí defektoskopicky a metalograficky.

Žíhací trhliny jsou poškození vznikající při vícevrstvých svarech jejich vzájemným vyžháním nebo klasickým žháním tepelně ovlivněných oblastí svaru (žhání na snížení vnitřního pnutí nebo popouštění).

Obr. 17 Žíhací trhlina



Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

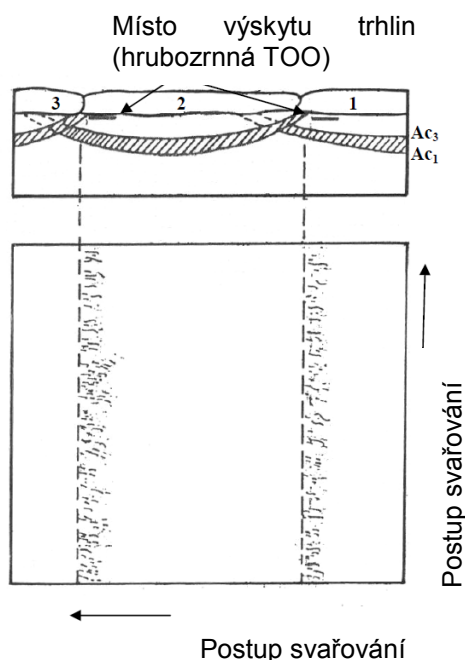
Trhliny se mohou tvořit:

- za nízkých teplot – při nízkoteplotním zpracování ($200 \div 350 \text{ }^\circ\text{C}$)
- v pásmu žhacích teplot ($450 \div 650 \text{ }^\circ\text{C}$)
- pod návary nízkolegovaných ocelí při plátování ocelí austenitickou navařovací páskou (podnávarové trhliny).

Příčiny vzniku trhlin:

- žhací trhliny za nízkých teplot vznikají důsledkem vysoké rychlosti ohřevu na žhací teploty, tím vzniká rozdíl teplot mezi jádrem a povrchem svaru; tyto teplotní napětí mohou spolupůsobit se strukturními napětími vznikajícími při rozpadu přesyceného tuhého roztoku (martenzit, dolní bainit)
- žhací trhliny za vysokých teplot vznikají v podhousenkové oblasti a jsou charakteristické hrubým zrnem; jejich příčinou je rozvoj plasticky kritické oblasti precipitačním vytvrzením a zkřehnutím hranic zrn segregací povrchově aktivních prvků (výskyt u nízkolegovaných CrMo a CrMoV ocelí, ale i u mikrolegovaných ocelí).

Obr. 18 Výskyt žhacích a podnávarových trhlin



Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Povrchově aktivní prvky (Cu, Sn, Sb, As) zvyšují náchylnost k trhlinám a jejich množství by nemělo přesáhnout $0,003 \div 0,005$ hm. %; jako další prvky lze jmenovat u nízkolegovaných ocelí chrom (do 1,5 %) a vanad (do 0,25 %).

Náchylnost k tvorbě žíhacích trhlin se informativně určuje podle parametrických rovnic, které byly odvozeny statistickým zpracováním experimentálních zkoušek a vztahují se k nízkolegovaným ocelím na bázi CrMo, CrMoV.

Je stanoven trhlinový parametr dle Nakamury ΔG , vliv mikrolegur se určuje parametrem dle I_{SR} , jak uvádí KUNCIPÁL [9, s. 147].

Faktory zamezující vzniku žíhacích trhlin:

- podnávarové lze omezit použitím dvojvrstvého návaru tak, aby druhá vrstva dostatečně vyžihala předchozí
- trhliny za nízkých teplot – upravit a kontrolovat žíhací režimy (nižší rychlost ohřevu při teplotách přibližně 400 °C a také při ochlazování z žíhací teploty, použití dvojstupňového žíhání, aj.)
- překování (broušení) okrajů svarů po svařování.

Experimentální metody stanovení odolnosti ocelí proti vzniku žíhacích trhlin lze rozdělit do dvou skupin:

- **zkoušky vlivu žíhání na svařovaných objektech** – zkoušejí se reálné svarové spoje (např. kruhová zkouška BWRA) a také lze vyhodnocovat svarové spoje ze zkoušek praskavosti Tekken a Leligh, při kterých se svar po svaření a kontrole celistvosti žihá různými režimy
- **tahové zkoušky** – na vzorcích se simulovaným teplotním svářecím cyklem při teplotách žíhání (např. izotermická tahová zkouška).

Izotermická tahová zkouška se simulovaným svařovacím cyklem

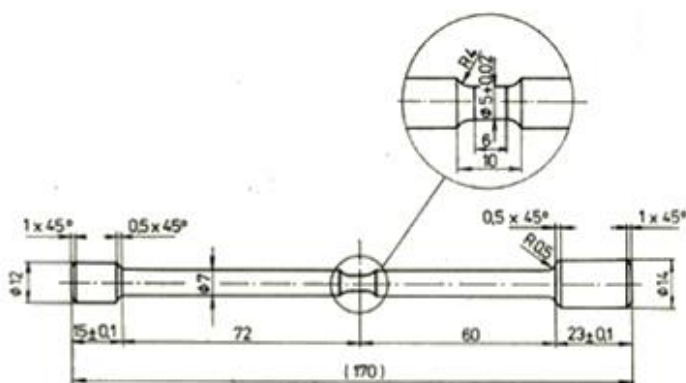
Je určena pro stanovení odolnosti konstrukčních ocelí za konstantní teploty při zvyšujícím se zatížení na imitátoru svařovacích cyklů.

Používají se tyče orientované ve směru válcování, jenž jsou v simulátoru zatěžovány svařovacím cyklem, tj. ohřevem na 1300 °C a ochlazováním

v intervalu teplot $800 \div 500$ °C rychlostí, která odpovídá způsobu svařování (pro obloukové svařování 10 s). Dále následuje ohřátí na jednu z teplot 500, 550, 600, 650 °C a pak jsou tyče zatěžovány silou $0,5 \text{ mm/min}^{-1}$. Po zatěžování následuje přetržení tyčí a je změřeno - vypočteno zúžení Z [%] v místě lomu. Hodnota zúžení Z je měřítkem odolnosti proti vzniku žíhacích trhlin:

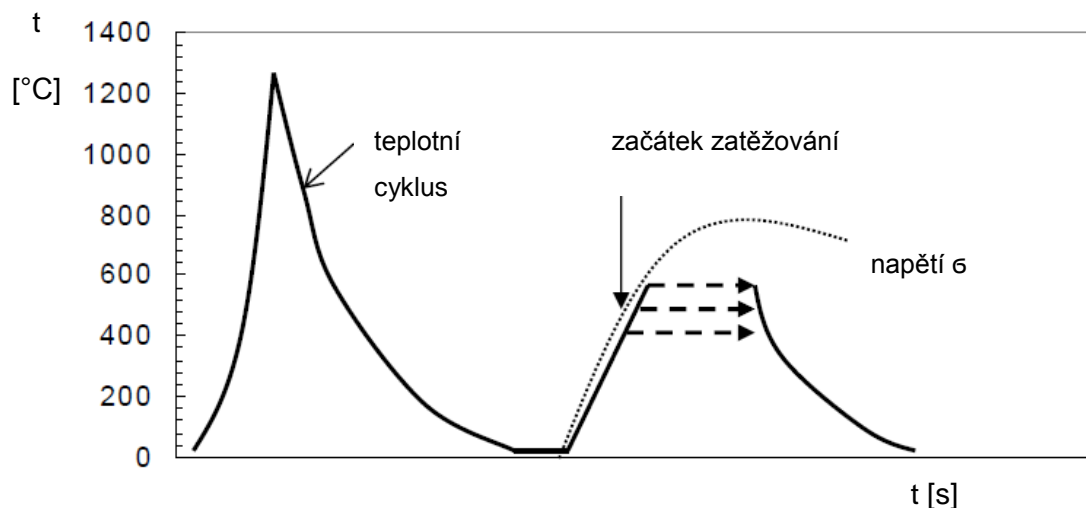
$Z > 20\%$... ocel s dobrou odolností, $Z < 10\%$... nevyhovující odolnost.

Obr. 19 Izotermická zkouška – tělísko



Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 147

Obr. 21 Schéma tahové zkoušky s pomalou deformací simulované hrubozrnné TOO



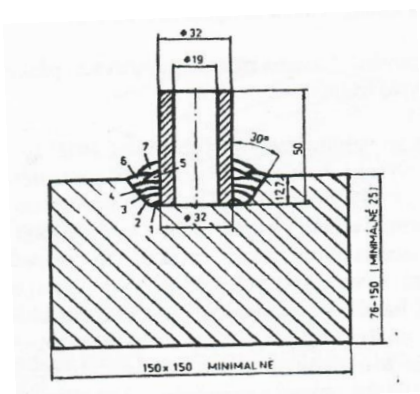
Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

Kruhová zkouška BWRA

Do drážky, jak je vidět na obrázku, se přivaří trubka sedmi housenkami, které se následně vyžihají při teplotách $600 \div 900$ °C, kdy se používají dvě rychlosti ohřevu na žíhací teploty 30 a 300 °C/h. Pak se metalograficky na vyžíhaném řezu určuje výskyt trhlin.

Obr. 21 Schéma zkoušky BWRA



Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

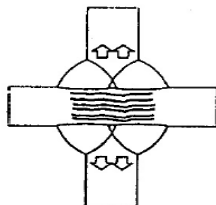
Další zkoušky

Ke zjišťování náchylnosti ocelí na vznik žíhacích trhlin lze využít i zkoušek Tekken, Lehight, CTS, jež se po svařování žíhají různými tepelnými režimy.

3.4.4. Odolnost proti lamelární praskavosti

Zkoušky vycházejí z ČSN 051314 a jsou určeny k hodnocení lamelárních trhlin v základním materiálu nebo v TOO v důsledku namáhání ve směru tloušťky plechu a vyznačují se kaskádovitým, stupňovitým tvarem, který je většinou rovnoběžný s povrchem plechu.

Obr. 22 Lamelární trhlina_1



Zdroj: <http://fast10.vsb.cz/odk/prednasok/prednaska1.pdf>

Lamelární trhliny se zařazují mezi vady typu studených trhlin, přestože jejich vznik může souviset s ději v přehřáté oblasti TOO při teplotách 400 až 500 °C a mohou též vznikat jako zbržděné.

Tento typ trhlin se často vyskytuje u svařovaných konstrukcí vyrobených z válcovaných plechů obsahujících rozválcované siričkové vměstky typu MnS nebo shluky oxidických vměstků. Příčinou jejich vzniku je oddělování jednotlivých kovových vrstev v místech plošných nečistot, tj. vrubovým účinkem plošných vměstků například sulfidického typu (endogenní princip), nebo se mohou vytvořit například z poškození vzniklého mechanismem tvorby trhlin za horka (exogenní princip).

Faktory ovlivňující vznik lamelárních trhlin:

- výskyt nekovových vměstků (siričky v rozválcovaném materiálu)
- vysokým namáháním ve směru tloušťky plechu
- způsob svařování
- konstrukce svařovaného uzlu
- obsah difuzního vodíku.

Obr. 23 Lamelární trhlina_2

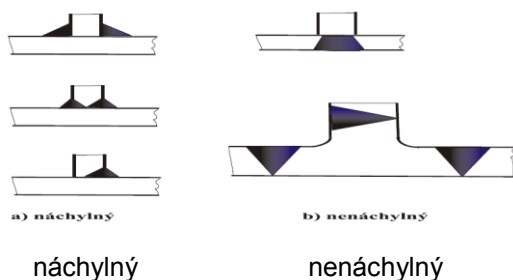


Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

Faktory zamezující vzniku lamelárních trhlin:

- používat materiály se zaručenou kontrakcí ve směru osy $Z_z \geq 15 \%$
- změnou tvaru spoje přeorientovat působení tahových napětí
- použít polštářování na ploše, kde působí kolmá tahová napětí (polštářováním nevnášíme do svařovaného plechu napětí ve směru jeho tloušťky)
- použít technik svařování minimalizujících napětí od svařování
- čistota ocelí (obsah síry nižší než 0,020 %).

Obr. 24 Úprava svarového spoje



Zdroj:

http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf

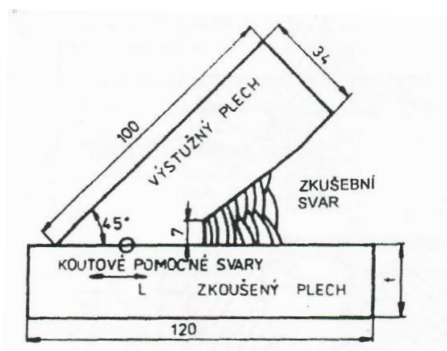
Pro hodnocení náchylností ocelí ke vzniku lamelárních trhlin se používají parametrické rovnice (parametr lamelární praskavosti dle obsahu síry, dle množství vměstků) zahrnující vliv chemického složení materiálu, obsahu nečistot, aj., ale neberou do úvahy mechanismus vzniku vad, řádkovitost struktury, tloušťku plechu a velikost napětí ve směru tloušťky materiálu.

Cranfieldova zkouška

Na zkušební desku se koutovými svary přivaří výstužný plech, kde počet vrstev svarového kovu má odpovídat reálné aplikaci. Napětí ve směru tloušťky zkoušeného plechu způsobuje smršťování každé vrstvy svaru (vyšší počet vrstev odpovídá vyššímu smršťování).

Takto vzniklá napětí způsobují i úhlové deformace; výskyt trhlin se hodnotí metalograficky.

Obr. 25 Cranfieldova zkouška

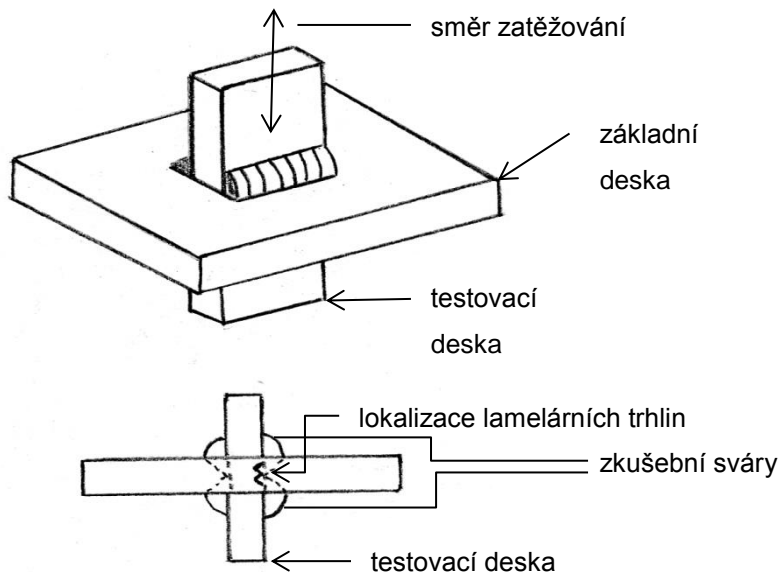


Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf

Oknová zkouška

Tato zkouška je modifikací křížové zkoušky v tuhém rámu, kdy se zkušební plech vloží do otvoru a přivaří se dvěma pevnostními svary 1, 2. Pak se provedou svary 3, 4 a následně se plech rozřeže na pásy po 15 mm a metalograficky se vyhodnotí.

Obr. 26 Oknová zkouška



Zdroj: <http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/5123285-DkBdRe/Assessmentoflamellartearing.pdf>

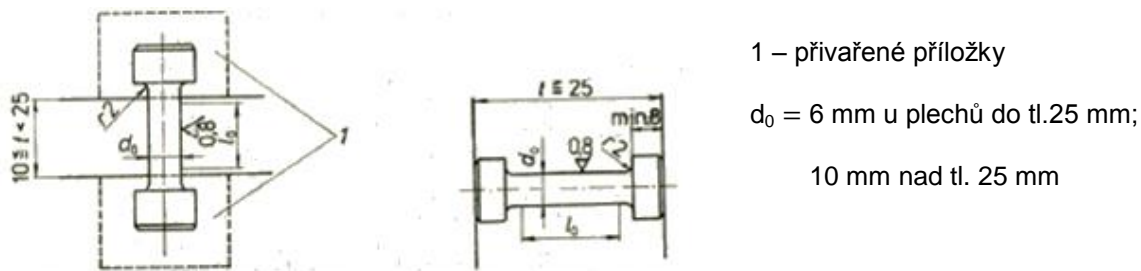
Zkouška tahem ve směru tloušťky plechu

Tato zkouška využívá jako hodnotící kritérium poměrné zúžení Z_z , které je zjišťováno tahovými zkouškami ve směru tloušťky vývalku a tyče, jsou orientovány podélnou osou kolmo na povrch vývalku;

mohou nastat tyto případy:

$Z_z < 10 \%$	oceli jsou náchylné k lamelární praskavosti
$10 < Z_z < 25 \%$	oceli pro běžné použití jsou odolné (požaduje se zhruba 15 %)
$Z_z > 25 \%$	oceli nenáchylné.

Obr. 27 Zkušební tyče



1 – přivařené příložky
 $d_0 = 6 \text{ mm}$ u plechů do tl. 25 mm;
 10 mm nad tl. 25 mm

Zdroj: KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s. ISBN 04-211-86. s. 150

3.5. Ukazatelé mechanických vlastností svarových spojů

K ověření deklarovaných užitečných vlastností použitých materiálů a jejich svarových spojů byla přijata řada testů, které deklarují přesnost a opakovatelnost výsledků za daných podmínek zkoušení.

3.5.1. Příčná zkouška tahem

Zkouška vychází z ČSN EN ISO 4136 a její podstatou je plynulé zatěžování zkušební tyče (za definovaných podmínek – teplota, rychlost deformace), odebrané napříč svarového spoje až do přetržení.

Ze získaného záznamu zatížení – zjištěnému prodloužení zkušební tyče, získáme klasický tahový diagram a lze vypočítat:

mez kluzu R_e , mez pevnosti R_m , tažnost A_5 (krátká tyč) nebo A_{10} (dlouhá tyč), kontrakci Z , ověřit platnost Hookova zákona.

Tyto hodnoty meze kluzu, pevnosti, tažnosti, kontrakce představují základní pevnostní a plastické vlastnosti kovových materiálů, které jsou uváděny v normách a jsou předmětem zkoušení ve strojírenské výrobě.

Specifika zkoušky svarových spojů:

- orientace zatížení je většinou kolmá k podélné ose svaru
- z důvodu heterogenity svarového spoje je zkouška jen informativní s nutností přísné definice místa tvorby krčku, lomu na zkušební tyči
- často se vyhodnocuje jen mez pevnosti

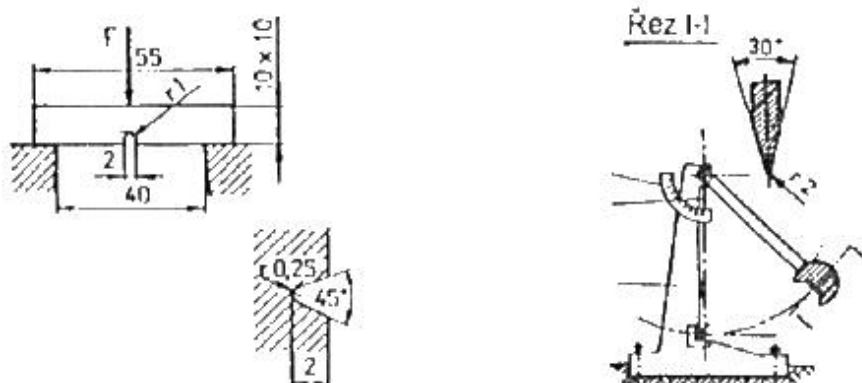
- je-li orientace zatížení rovnoběžná s osou svaru (dostatečné množství svarového kovu pro odstranění heterogenity materiálu), pak lze určit jednotlivé charakteristiky svarového kovu (R_e , R_m , aj.).

3.5.2. Zkouška rázem v ohybu

Zkouška vychází z normy ČSN EN 875, kdy se provádí na normovaném tělísku, jenž má v podélném směru vrub (tři typy vrubů s následujícím značením hodnot vrubové houževnatosti: KCU3, KCU2, KCV) modelující apriorní trhlinu v materiálu.

U kořene vrubu je při vlastním rázovém zatížení Charpyho kyvadlem vyvolána trojosá tahová napjatost (tj. nejméně příznivé napěťové poměry). Kritériem schopnosti materiálu odolávat křehkému porušení je velikost a typ lomu iniciovaného v kořeni vrubu (u svarového spoje je nutné zohlednit umístění vrubu – svar, TOO, hranice ztavení).

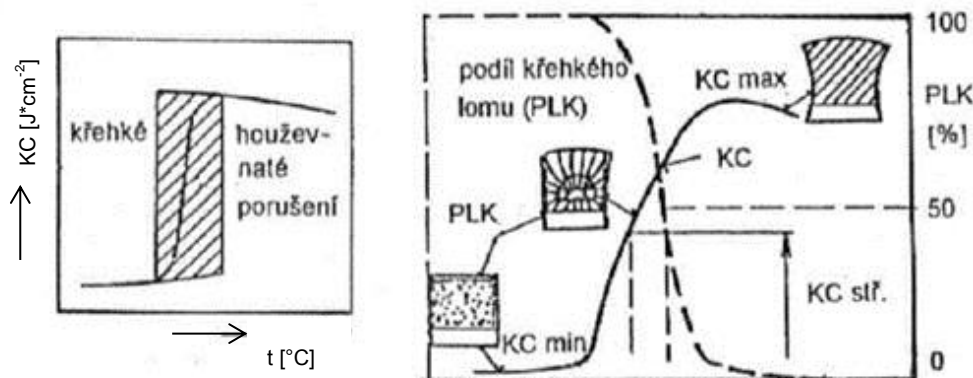
Obr. 28 Zkouška rázem v ohybu (vrub KCV)



Zdroj: http://www.zcu.cz/fpe/kmt/kat/Download/mttga/zkousky_mat_a_svaru.pdf

Teplotní závislost vrubové houževnatosti, resp. % křehkého lomu, vyjadřuje Vidalova křivka.

Obr. 29 Vidalova křivka



Zdroj: http://www.zcu.cz/fpe/kmt/kat/Download/mttga/zkousky_mat_a_svaru.pdf

Křehký lom, který porušuje svarový spoj, aniž může nastat plastická deformace, je nestabilní (porušení je náhlé, atd.) a nastává účinkem energie ve svarovém spoji. Je charakterizován štěpením zrn kovu (lomová plocha krystalického charakteru). U nízkouhlíkových ocelí jsou křehké lomy rovinné se žebrováním, které ukazuje na místo počátku lomu s parabolickou oblastí zastavení šíření trhliny.

Při vyšších teplotách ($\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$) je dosahováno skoro 100% houževnatého stavu. Další možností, jak dosáhnout vysokých hodnot vrubové houževnatosti při nízkých teplotách je u kovů austenitické báze s mřížkou kubicky plošně středěnou nebo zajistit u materiálů jemnou bainitickou strukturu, používat ocele o vysoké metalurgické čistotě, nízké vměstkovitosti, vyššího stupně protváření, aj.

A jak uvádí ANB [15, s. 36] ... *U svarových spojů k tomu dále přistupují technologické vlivy, jako jsou likvidace hrubé dendritické struktury svarového kovu, jeho vysoká čistota, úzká oblast tepelně ovlivněné zóny, ..., zabránění nauhličení, nízký obsah vodíku, ...*

3.5.3. Zkouška ohybem

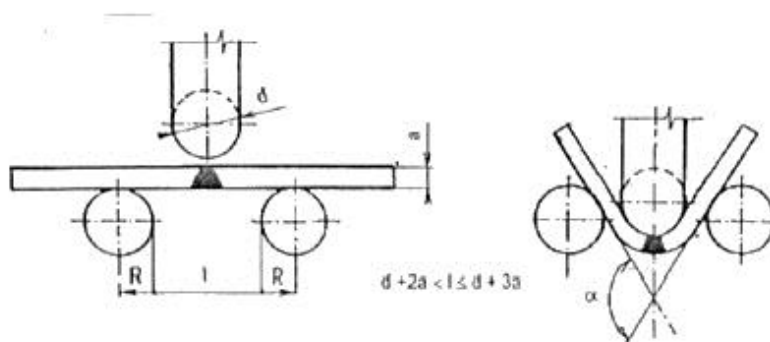
Principem zkoušky dle ČSN EN ISO 7438 je ohybová deformace, která vyjadřuje schopnost tupých svarových spojů za studena odolávat vadám

v jakémkoli směru ploché tyče o tloušťce zkoušeného svaru t max. do 30 mm okolo trnu do předepsaného úhlu ohybu bez vzniku trhlin. Vady vyskytující se v průběhu zkoušky na hranách zkušební kusu se při hodnocení neuvažují.

Kritériem této zkoušky je dosažení předepsaného úhlu ohybu bez vzniku trhlin (plně vyhovující je úhel ohybu 180°), nebo vznik první trhliny na tažené straně tyče s registrací dosaženého úhlu.

U tupých svarů závisí výsledek zkoušky na orientaci tvaru svarového spoje vzhledem k tažené straně (kořenová část, atd.); nejméně příznivá je orientace tzv. 'otvírání svaru' podél kořenové vrstvy.

Obr. 30 Zkouška ohybem



Zdroj: http://www.zcu.cz/fpe/kmt/kat/Download/mttga/zkousky_mat_a_svaru.pdf

3.5.4. Zkoušky tvrdosti

Zkoušky vycházejí z ČSN EN ISO 9015 a jejich principem je zaznamenání odporu materiálu proti statickému – dynamickému vnikání cizího tělesa; člení se na statické (Brinellova zkouška, Vickersova, tvrdost dle Rockwella) a dynamické (Poldi kladívko, Shoreho odrazová zkouška).

Zkoušky slouží mimo jiné k stanovení (i na příčných řezech) maximální tvrdosti v jednotlivých pásmech svarového spoje především v tepelně ovlivněné oblasti základního materiálu. Znalost tvrdosti v TOO a v jejím okolí nám může pomoci při zjišťování křehkosti svaru.

Brinellova zkouška (HB) – do materiálu je předepsanou zatěžovací silou (29 430 N) zatlačována ocelová kalená kulička (\varnothing 10 mm), jenž vytvoří opticky měřenou plochu vtisku; Tvrdost HB se vypočte pomocí definovaného vzorce.

Tvrdość dle Vickerse (HV) – tvrdość je vypočítávána podle délky střední úhlopříčky vtisku o vrcholovém úhlu 136°. Podle ČSN EN 1043-1 je proměření tvrdości svarových spojů na bázi železa předepsána zkouška HV 10 a HV 5. Povolená tvrdość ve svarovém spoji se podle ČSN EN 288-3 pohybuje od 300 do 450 HV 10 dle typu svarového spoje a jeho tepelného zpracování.

Touto zkouškou se zjišťuje mikrotvrdość jednotlivých strukturních fází a tím lze porovnat různé přídavné materiály, jednotlivé technologie svařování – tepelné zpracování po svařování (např. tvrdość pod navařenou housenkou by neměla překročit 500 HV).

Tvrdość dle Rockwella (HRC, HRB, HRA) – zkouška se používá ve více variantách, a to pro vysokotvrdé materiály s použitím diamantového kužele o vrcholovém úhlu 136° (HRC; tvrdość martenzitu již mnoho nestoupá, zvyšuje-li se obsah uhlíku nad eutektoidní obsah a tvrdość bývá HRC = 66, DRIML [31]) nebo kalené ocelové kuličky $\varnothing 1/16$ ", což je 1,5875 mm, u měkkých materiálů (HRB) a jako nejméně invazivní metoda pro testování křehkých materiálů nebo tenkých vrstev (HRA), kde je indentorem diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120°.

Tvrdość pomocí Poldi kladívka (HB) – úderem kladiva na úderník dojde ke vtisku kuličky do zkoušeného materiálu ta do tyčky o známé tvrdości. Porovnáním vtisků určíme tvrdość.

Použití metody je vhodné pro rozměrově a hmotnostně velké výrobky, při montážních pracích (v okolí montážních svarů).

Shoreho odrazová zkouška – při této zkoušce se používá Shoreho skleroskop, kdy testujícím tělískem je diamantový hemisférický hrot padající z určité výšky na povrch testovaného tělesa. Kritériem tvrdości je výška odskoku tělíška a po vyhodnocení pomocí přepočítávacích tabulek se určí tvrdość.

3.5.5. Zkouška únavové pevnosti

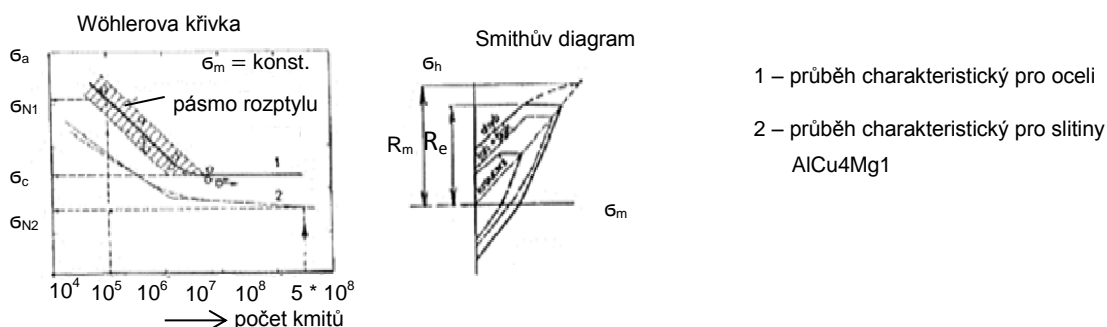
Těmito zkouškami se snažíme přiblížit reálnému stavu působení proměnlivého namáhání, které zapříčiňuje poruchy součástí při nižších napětích, než jsou pevnostní charakteristiky daného materiálu.

Zkouška vychází z ČSN 420363 a podle počtu únavových cyklů, které mohou být různého charakteru (míjiví, střídavý, aj.) nebo náhodného napětí, lze rozlišit únavu nízkocyklovou (do 10^4 cyklů), vysokocyklovou (nad 10^7 cyklů) v tahu, ohybu nebo v krutu.

Zkouška probíhá na únavových strojích se zatížením mechanickým či hydraulickým nebo se používají elektromagnetické vysokofrekvenční pulzátory. Výsledkem zkoušky je Wöhlerova křivka, kterou lze nahradit dvěma přímkami. Jedna představuje úsek tzv. časové meze únavy (s počtem cyklů lineárně klesá) a úsekem, kde se únavové napětí s počtem cyklů již nemění.

A jak uvádí SATNIHLAV [22] ... *Pro získání dokonalé představy o únavovém chování materiálu je tedy třeba stanovit několik Wöhlerových křivek s různou asymetrií cyklů a z nich sestavit diagram mezních cyklů neboli Smithův únavový diagram. Tento diagram vyjadřuje vztah mezi hodnotami meze únavy pro různé druhy asymetrie cyklu.*

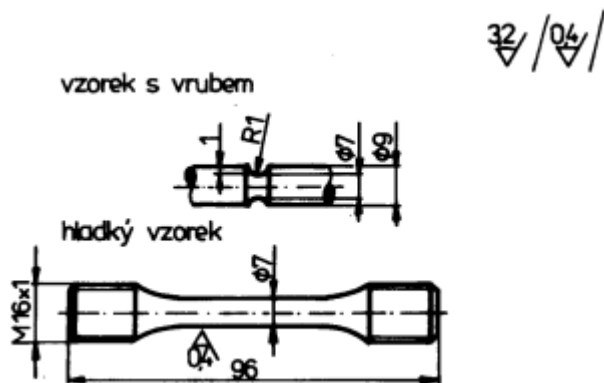
Obr. 31 Křivky únavy



Zdroj: http://www.zcu.cz/fpe/kmt/kat/Download/mttga/zkousky_mat_a_svaru.pdf

Zkušební tělesa pro laboratorní zkoušky jsou válcového, plochého tvaru s jemně broušeným a leštěným povrchem o rozměrech funkční části 6 až 20 mm. Tělesa mohou být hladká nebo s vrubem, otvorem, osazením (to představuje koncentrátor napětí).

Obr. 32 Příklad zkušebního vzorku



Zdroj:

<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=%C3%BA%20materi%C3%A1lu%20s%20atnihlav&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fjaja.kn.vutbr.cz%2F~janirek2%2Fdok%2Fmaterialy%2F7tUnava.doc&ei=SsLaUIOBBu3U4QSlxYD4AQ&usg=AFQjCNH6RpVJ9PCfXKNOPU6kzVqv60AczQ&bvm=bv.1355534169,d.Yms&cad=rja>

U svarových spojů způsobují nehomogenity značné zmenšení deklarovaných mechanických vlastností. Například zvýšený obsah inkluzí (vměstků) působí nepříznivě při plastické deformaci spoje – vyvolávají koncentrace napětí a způsobují vznik dutin a trhlin ve struktuře materiálu; póry vznikající při svařování zeslabují nosný průřez.

A jak uvádí NĚMEC [13, s. 11] ... *Velmi závažné pro únavové poškození svařených konstrukcí v provozu jsou makrovruby, jako jsou např. ostře nasazené závěrečné housenky svarů a hrubé neprůvary jejich kořenů.*

3.5.6. Zkouška rozlomením

Tato zkouška je definována v ČSN EN 1320 a povrch lomu je kontrolován vizuálně s tím, že celý popis vzhledu zjištěných vad se zaprotokoluje a dále se hodnotí jakost dle ČSN EN ISO 5817 (pro oceli, nikl, titan, aj.) – kdy tato norma uvádí přípustné typy vad, jejich velikost a četnost pro tři stupně jakosti: nízký – D, střední – C, vysoký – B.

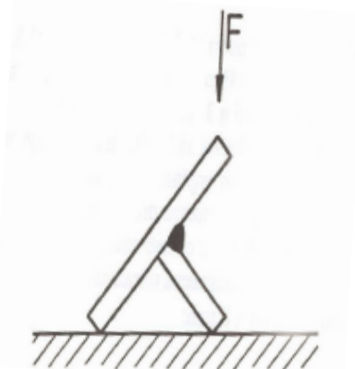
Principem zkoušky je rozlomení svarového spoje a pak následuje pozorování celé lomové plochy. Lom se vyvolá statickým, dynamickým ohybem nebo krutem; aby vznikl lom ve svarovém kovu, tak se může svar opatřit vrubem. Touto zkouškou se určují typy, rozměry, rozmístění vnitřních vad (dutiny, trhliny, studené spoje, neprůvary, pevné vměstky na ploše lomu – viz příloha č. 2).

Tvary a rozměry jednotlivých zkušebních kusů jsou různé pro zkoušení tupých svarů na plechu, pro tupé svary na trubce, pro koutové svary na plechu a na trubce.

Zkušební tyče ze svarových spojů na plechu se řežou napříč svarovým spojem, u tupých svarů má být osa svaru ve středu zkušební tyče. Při zkoušení rozlomení tyčí ohybem musí být zkoušen stejný počet tyčí s taženou lícni i kořenovou stranou.

Typ vrubu (ostrý, oblý, čtvercový) se volí na základě houževnatosti materiálu s takovou hloubkou, aby byl iniciován lom ve svaru.

Obr. 34 Princip zkoušky rozlomením



Zdroj: http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/zkousky_svaru_ndt.pdf

4. Experimentální zkoušky svarových kovů

Pro praktickou část této práce byly využity výsledky úředních zkoušek koutových svarů a svarů na tupo zhotovených na plechu u svářečů vykonávajících zkoušku podle ČSN EN 287-1 v průběhu jednoho roku. Podle této úřední normy jsou zkoušeni svářeči, kteří budou svařovat zařízení podléhající technickým pravidlům (schválené a platné normy, vyhlášky, aj.) vyžadující pro svářeče pro danou práci konkrétní zkoušku, nebo např. pokud zákazník požaduje provedení svarů takto certifikovanými svářeči. Obecně lze říci, že svarové spoje, jejichž porušením by mohlo dojít k obecnému ohrožení, musí provádět svářeč se zkouškou dle této normy. Značení zkoušek svářečů je uvedeno v příloze č. 6.

Tato norma platí pro metody tavného svařování (ruční, částečně mechanizované – značení metod svařování uvádí příloha č. 3); neplatí pro plně mechanizované a automatizované metody svařování (viz EN 1418).

Součástí této normy jsou odvolání na další související normy, např.: EN 1320 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška rozlomením EN 970, Nedestruktivní zkoušení tavných svarů – Vizuální kontrola EN ISO 6947 Svařování – Pracovní polohy – definice úhlu, sklonu a otočení, aj.

4.1. Svářečská škola

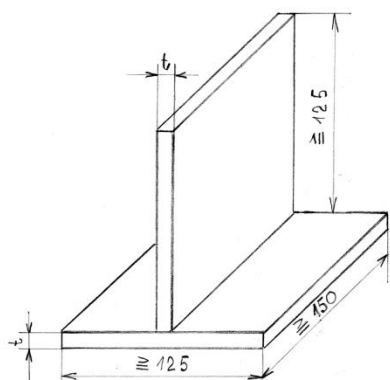
Jednotlivé svařené vzorky byly zhotoveny ve Svářečské škole ROSS, Roudnice nad Labem, evid. č. 13 – 172.

4.2. Zkouška rozlomením koutového svaru

Zkušební kusy pro zkoušku rozlomením koutových svarů mají předepsaný tvar a rozměr dle ČSN EN 1320.

U koutových svarů je definován rozměr **a** – určený výškou rovnoramenného trojúhelníka vepsaného do průřezu svaru a rozměr **z** – určený délkou odvěsny koutového svaru; matematicky lze tento vztah vyjádřit: $z = a\sqrt{2}$, [mm].

Obr. 34 Tvar a rozměr zkušebních vzorků pro koutový svar na plechu



t – tloušťka zkušebního kusu [mm]

$$0,5 \times t \leq a \leq 0,7 \times t$$

Zdroj: ČSN EN 287-1

Konkrétní vzorky použité ve svařovací škole byly o rozměru 200x150x150 mm a tloušťce 6 mm připravené mechanickým dělením.

Zkušební vzorek před zkouškou rozlomením na lisu je zachycen na fotografii č. 2 (příloha 9).

Svařovaný materiál

Pro zkoušku rozlomením se používal materiál S235JRG2; z důvodu snížení počtu zkoušek svářečů jsou materiály s podobnými svařovacími vlastnostmi zařazeny do skupin dle CR ISO 15608, jak je uvedeno v příloze 1. Taktéž přesné rozměry tloušťky materiálu zkušebního kusu se nestanovují a ČSN EN 287-1 zná tři tloušťky: první rozsah do 3 mm

druhý rozsah nad 3 mm až 12 mm

třetí rozsah nad 12 mm;

rozsah oprávnění svářeče pro jednotlivé metody svařování a tloušťky materiálu uvádí výše jmenovaná norma.

Vlastnosti materiálu S235JRG2:

S oceli pro ocelové konstrukce pro všeobecné použití

235 mez kluzu R_e [MPa]

J nárazová práce (J ... 27 J)

R teplota zkoušky (R ... + 20 °C)

G2 uklidněná ocel.

Použité metody svařování

Jednotlivé výše uvedené zkušební vzorky byly svařovány metodou 111 a 135 (značení metod svařování je uvedeno v příloze 3).

Označení zkoušky svářečů dle ČSN EN 287-1:

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| a) 135 P FW 1.1 S t6 PB ss ml | } | význam jednotlivých symbolů je
uveden v příloze 8 |
| b) 111 P FW 1.1 B t6 PB ss ml | | |

Metoda 111:

přídavný materiál - elektrody bazické EB 121, \varnothing 3,2 mm, vysušené dle předpisu výrobce ESAB Vamberk [30];

svařovací parametry - stejnosměrný svařovací proud, nepřímá polarita, proud 130 ÷ 140 A, napětí 18 ÷ 22 V, svařovací stroj WTU 315 – viz fotografie č. 3 (příloha 9).

Metoda 135:

přídavný materiál - drát OK.AUTROD 12.51 - ESAB Vamberk [30], \varnothing 1,2 mm;

svařovací parametry - stejnosměrný svařovací proud, nepřímá polarita, proud 100 ÷ 120 A, rychlost podávání elektrody 5÷10 m/min (bez přesného změření), množství ochranného plynu 12÷17 l/min, napětí 18 ÷ 22 V, ochranný plyn C1 (značení ochranných plynů viz příloha 4), svařovací stroj OMI 2450 – viz fotografie č. 4 (příloha 9).

Poznámka:

značení přídavných materiálů je uvedeno v příloze 5.

4.2.1. Postup zkoušky

Aby byl výsledný svarový spoj kvalitní, je nutná pečlivá příprava svařovaného materiálu, tj. materiál musí být čistý (odstranit mastnotu, okuje, rez, aj.) a musí mít správné rozměry a tvary svarových ploch.

Před vlastním svařováním se na vzorku z boku provedou stehovací svary a následně se vzorek svaří (jednostranný třívrstvý koutový svar). Svářeč na zkušebním vzorku může menší vady svařování odstranit broušením s výjimkou krycí vrstvy svaru (oprava se provádí s povolením zkušebního orgánu, organizace);

zkušební vzorek musí mít alespoň jedno napojení v kořenové i krycí vrstvě svarového spoje.

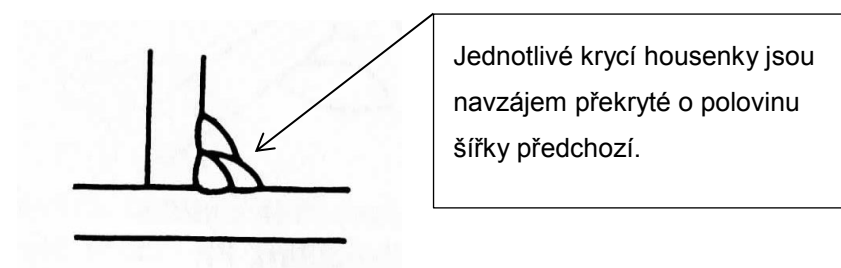
Vyhotovený koutový svarový spoj se zkouší postupem uvedeným v ČSN EN 287-1 (blíže viz příloha č.7):

- 1) vizuální kontrola dle EN 970
- 2) zkouška rozlomením dle EN 1320.

Zkušební vzorek se před zkouškou dále nedělil na menší zkušební kusy (na rozdíl od svarů provedených na tupo) a také neopatřoval pomocným vrubem dle EN 1320 (pro zajištění průchodu lomové plochy svarovým kovem). Zkouška makrostruktury se též neprováděla.

Zkušební označený vzorek před rozlomením na lisu je zachycen na fotografii č. 2 (příloha 9).

Obr. 35 Kladení housenek koutového svaru



Zdroj: BARTOŠ, J. *Základní kurs svařování metodou 111*. 2. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS, 2010. 200 s. ISBN 80-866698-17-3. s.75

4.2.2. Vyhodnocení zkušebních vzorků

Výsledky všech zkoušek se musí zadokumentovat. Zkušební kusy musejí být hodnoceny podle požadavků specifikovaných pro příslušné druhy vad.

Před začátkem každého zkoušení musí být zkontrolováno:

- zda-li jsou struska a rozstřík svarového kovu odstraněny
- zda-li není broušen kořen a líc svaru
- zda-li je označeno místo přerušení a nového napojení v kořeni a krycí vrstvě svaru
- tvar a rozměry posuzovaného vzorku.

Svářeč, respektive vzorek, vyhověl zkoušce, pokud jsou vady v mezích stanovených pro stupeň jakosti B dle ČSN EN ISO 5817 (viz příloha 8) s výjimkou následujících vad:

- nadměrné převýšení tupého svaru
- nadměrné převýšení kořene
- nadměrná velikost koutového svaru, pro který platí stupeň jakosti C.

Vady vycházející z hrany zkoušeného vzorku v průběhu zkoušení se nehodnotí, pokud není prokázáno, že trhliny jsou způsobeny neprůvarem, struskou či jinou vadou.

Zjištěné vady se označují ve zkušebním protokolu následujícím způsobem:

například špatné sestavení koutových svarů – vada 618 - nese označení: Vada ISO 6520-1-618.

4.2.3. Vizualní kontrola koutového svaru dle EN 970

Kritériem vizualní zkoušky je, aby svar vyhověl všem požadavkům daných normou a mohlo se přistoupit ke zkoušce rozlomením.

Význam číselného označení vad svarových spojů je uveden v příloze 2. V následujících tabulkách je uveden soubor dvaceti zkušebních vzorků, které byly hodnoceny v průběhu jednoho roku u svářečů zkoušených podle EN 287-1 žádajících prodloužení platnosti certifikátů příslušných oprávnění uvedených ve svářečských průkazech.

Převýšení koutových svarů, pro tuto zkoušku za daných podmínek svařování, má činit maximálně 9 mm, jak dokumentuje fotografie č. 5 (příloha 9); nerovnoměrnost je zachycena na fotografii č. 6 (příloha 9). Vizualně bezchybný svar dokumentuje fotografie 2 a 5 (příloha 9).

Tab. 3 Vizuální vady koutových svarů metodou svařování 111

111 P FW 1.1 B t6 PB ss ml				
Označení vady svaru				
Poř. č.	překročení rozměru	503	512	bez vady
1	x			
2		x		
3			x	
4		x		
5		x		
6	x			
7				x
8			x	
9		x		
10		x		
11		x		
12			x	
13	x			
14				x
15				x
16			x	
17		x		
18	x			
19	x			
20	x			

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 503 – nadměrné převýšení koutového svaru
- vada 512 – nadměrná asymetrie koutového svaru.

Tab. 4 Vizuální vady koutových svarů metodou svařování 135

135 P FW 1.1 B t6 PB pf ml				
Označení vady svaru				
Poř. č.	překročení rozměru	503	512	bez vady
1				x
2		x		
3		x		
4			x	
5				x
6		x		
7	x			
8		x		
9		x		
10		x		
11				x
12	x			
13	x			
14		x		
15		x		
16			x	
17	x			
18				x
19		x		
20				x

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 503 – nadměrné převýšení koutového svaru
- vada 512 – nadměrná asymetrie koutového svaru.

Ve výše uvedených tabulkách vidíme, že ve všech posuzovaných případech se vyskytovaly u obou metod svařování jen tři typy vad svaru, a to:

- 503 – nadměrné převýšení
- 512 – asymetrie
- nedodržení rozměru.

Následně byla získaná data z tabulky vizuálních vad svarů (Tab. 3 a 4) zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti výskytu vizuální vady svaru na použité metodě svařování, jak je uvedeno v následující tabulce (Tab. 5).

Tab. 5 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady)

Četnost vad				
	503	512	rozměr	bez vady
Metoda 111	7	4	6	3
Metoda 135	9	2	4	5

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	4	20	5	3,33
Metoda 135	4	20	5	8,67
503	2	16	8	2
512	2	6	3	2
rozměr	2	10	5	2
bez vady	2	8	4	2

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F _{krit}
Řádky	0	1	0	0	1	10,13
Sloupce	28	3	9,33	3,5	0,17	9,28
Chyba	8	3	2,67			
Celkem	36	7				

Na základě provedené analýzy ($F_{krit} > F$) můžeme konstatovat, že v tomto případě, kdy třívrstvé svary prováděli zkušení svářeči, tak s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda neovlivňuje četnost a druh výskytu vizuální vady svaru, odchylky mezi jednotlivými údaji v tabulce vad jsou náhodného rázu.

4.2.4. Vyhodnocení vad svaru po rozlomení dle ČSN EN 1320

Jestliže zkušební svar vyhověl vizuální zkoušce, pak je možno provést zkoušku rozlomením. Jednotlivé zjištěné vady jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 6 Vady po rozlomení koutových svarů metodou svařování 111

111 P FW 1.1 B t6 PB ss ml					
Označení vady svaru					
Poř. č.	bez vady	2011	2012	2013	3012
1	x				
2	x				
3					x
4	x				
5	x				
6		x			
7	x				
8		x			
9			x		
10				x	
11					x
12	x				
13		x			
14	x				
15	x				
16					x
17				x	
18	x				
19	x				
20	x				

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 2011 – bublina
- vada 2012 – rovnoměrná pórovitost
- vada 2013 – shluk pórů
- vada 3012 – ojedinělý struskový vměstek.

Tab. 7 Vady po rozlomení koutových svarů metodou svařování 135

135 P FW 1.1 B t6 PB pf ml				
Poř. č.	Označení vady svaru			
	bez vady	2011	2012	2013
1	x			
2		x		
3	x			
4	x			
5	x			
6			x	
7		x		
8	x			
9	x			
10				x
11	x			
12	x			
13	x			
14	x			
15	x			
16		x		
17	x			
18	x			
19		x		
20	x			

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 2011 – bublina
- vada 2012 – rovnoměrná pórovitost
- vada 2013 – shluk pórů.

U metody 111 se vyskytla navíc oproti metodě 135 vada ISO 6520-1-30012 (ojedinělý struskový vměstek – viz fotografie č. 7 (příloha 9)).

Vada 2011 (bublina) je zachycena na fotografii č. 10 (příloha 9);

vada 2012 (rovnoměrná pórovitost) je zachycena na fotografii č. 12 (příloha 9);

vada 2013 (shluk pórů) je zachycena na fotografii č. 11 (příloha 9).

Následně byla získaná data z tabulky vad svarů po rozlomení (Tab. 6 a 7) zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti vady svaru po rozlomení na použité metodě svařování, jak je uvedeno v následující tabulce (Tab. 8).

Tab. 8 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vady po rozlomení)

Četnost vad		
	vada	bez vady
Metoda 111	10	10
Metoda 135	7	13

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	2	20	10	0
Metoda 135	2	20	10	18
vada	2	17	8,5	4,5
bez vady	2	23	11,5	4,5

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F _{krit}
Řádky	0	1	0	0	1	161,45
Sloupce	9	1	9	1	0,5	161,45
Chyba	9	1	9			
Celkem	18	3				

Na základě provedené analýzy ($F_{krit} > F$) můžeme konstatovat, že v tomto případě, kdy třívrstvé sváry prováděli zkušení svářeči, s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda neovlivňuje četnost a druh výskytu vady po rozlomení svaru, odchylky mezi jednotlivými údaji v tabulce vad jsou náhodného rázu.

Aby svarový koutový spoj po zkoušce rozlomením v jakosti C, byl vyhovující dle ČSN EN 5817, tak se navíc nesmějí vyskytovat například tyto závažné vady v jakémkoli rozsahu:

- nenatavená hrana – studený spoj (viz fotografie č. 8 a č. 9, příloha 9)

- neprovařený kořen
- protáhlý pór
- červovitý pór
- dlouhý pevný vměstek
- kráterová trhlina
- aj.

4.2.5. Závislost vad koutových svarových spojů před a po rozlomení

Podíváme-li se na četnost výskytu bezchybně provedeného a hodnoceného svaru dle odpovídající normy při vizuální kontrole a následně vyhodnocených svarů po zkoušce rozlomením dle odpovídající normy u jednotlivých metod svařování tak zjistíme, že po rozlomení zkušebních vzorků, i když u nich byly identifikovány vizuální vady svaru, tak jsou přesto tyto svary po rozlomení bez vad v lomové ploše.

Tab. 9 Závislost výskytu bezvadného spoje před a po rozlomení

Četnost výskytu bezchybného svaru		
	před rozlomením	po rozlomení
Metoda 111	3	10
Metoda 135	5	13

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	2	13	6,5	24,5
Metoda 135	2	18	9	32
před rozlomením	2	8	4	2
po rozlomení	2	23	11,5	4,5

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota	
					P	F _{krit}
Řádky	6,25	1	6,25	25	0,13	161,45

Sloupce	56,3	1	56,25	225	0,04	161,45
Chyba	0,25	1	0,25			
Celkem	62,8	3				

Po zpracování dat četností výskytu bezchybně provedených spojů, můžeme konstatovat, že s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda ($F_{krit} > F$, Řádky) neovlivňuje četnost výskytu bezchybně hodnoceného svarového spoje před a po rozlomení. Ale četnost výskytu bezchybně hodnoceného spoje je u jednotlivých metod rozdílná (více bezchybných spojů vykazuje metoda svařování 135 ($F_{krit} < F$, Sloupce).

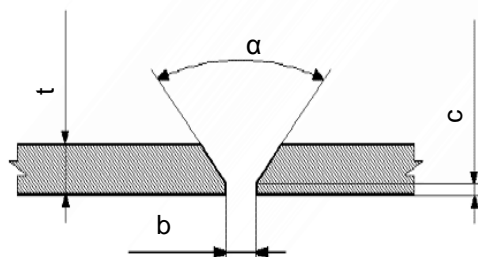
Dalším zajímavým úkazem bylo zjištění, že vada ISO 6520-1-3012 (ojedinělý struskový vměstek), která byla identifikována po rozlomení u metody svařování 111, se vyskytla u stejných vzorků, které byly vizuálně hodnoceny vadou ISO 6250-1-512 (asymetrie) a vadou ISO 6250-1-503 (nadměrné převýšení).

4.3. Zkouška rozlomením svarů na tupo

Zkušební kusy pro svary na tupo mají předepsaný tvar a rozměr dle ČSN EN 1320.

Konkrétní vzorky použité ve svařovací škole byly o rozměru 300x150 mm a tloušťce 6 mm připravené autogenním polohovacím hořákem, jak dokumentuje fotografie č. 1 (příloha 9) s odbroušením vzniklých okují na styčných plochách. Tvar a rozměry svarových ploch hodnocených svarů přibližuje následující obrázek.

Obr. 36 Tvar svarové plochy tupého jednostranného V svaru



- t ... 6 mm (tloušťka)
- α ... 60° (úhel otevření)
- b ... 2 až 3 mm (svarová mezera)
- c ... cca 2,5 mm (otupení)

Zdroj: ČSN EN 29692

Svařovaný materiál

Zkušební svařovaný materiál S235JRG2 pro tupé svary na plechu je stejný jako při zkouškách koutových svarů rozlomením, jak je uvedeno v kapitole 5.2.

Použité metody svařování

Jednotlivé zkušební vzorky byly svařovány metodou 111 a 135 (značení metod svařování je uvedeno v příloze 3).

Označení zkoušky svářečů dle ČSN EN 287-1:

- | | | |
|-------------------------------|---|--|
| a) 135 P BW 1.1 S t6 PA ss ml | } | význam jednotlivých symbolů
je uveden v příloze 8 |
| b) 111 P BW 1.1 B t6 PA ss ml | | |

Poznámka:

značení přídavných materiálů uvádí příloha 9, svařovací stroje a jejich nastavení je obdobné tomu, jak je uvedeno v kapitole 5.2.

Metoda 111:

přídavný materiál – elektrody bazické EB 121, \varnothing 3,2 mm pro krycí vrstvu svaru
a \varnothing 2,5 mm pro kořenovou vrstvu svaru, vysušené dle předpisu výrobce
ESAB Vamberk [30].

Metoda 135:

přídavný materiál - drát OK.AUTROD 12.51 - ESAB Vamberk [30], \varnothing 1,2 mm,
ochranný plyn C1 (viz příloha 4).

4.3.1. Postup zkoušky

Aby byl výsledný svarový spoj kvalitní, je nutná pečlivá příprava svařovaného materiálu, tj. materiál musí být čistý (odstranit mastnotu, okuje, rez, aj.) a musí mít správné rozměry a tvary svarových ploch.

Před vlastním svařováním se provedou stehovací svary, které jsou již součástí kořenového svaru, a tak se musí dbát na to, aby byly pečlivě provedeny. Následně se provede kořenový svar a pak krycí. Svářeč na zkušební vzorku může menší vady svařování odstranit broušením s výjimkou krycí vrstvy svaru (oprava se provádí s povolením zkušebního orgánu, organizace);

zkušební vzorek musí mít alespoň jedno napojení v kořenové i krycí vrstvě svarového spoje.

Vyhotovený a řádně označený svarový spoj se zkouší postupem uvedeným v ČSN EN 287-1 (blíže viz příloha č.7):

- 1) vizuální kontrola dle EN 970
- 2) zkouška rozlomením dle EN 1320.

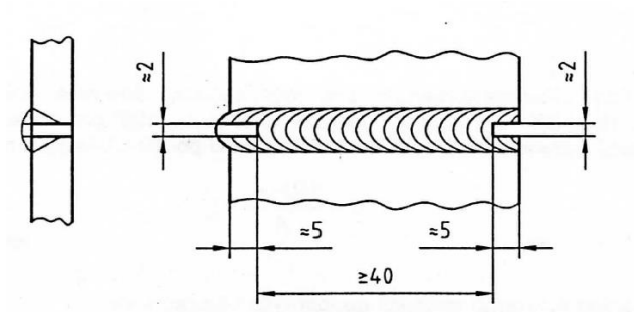
U zkoušky rozlomením může být, pokud je to nutné, zkušební kus rozdělen na více zkušebních vzorků o minimální délce svaru na zkušebním vzorku ≥ 40 mm; každý vzorek je nutné odebrat pro tuto zkoušku dle ČSN EN 1320.

Před vlastní zkouškou rozlomením, byl svařený vzorek rozřezán na šest zkušebních kusů.

Zkušební vzorky lze opatřit podélně jakýmkoli vrubem dle EN 1320 v ose svaru na tahové straně a tím zajistíme, aby lomová plocha po rozlomení probíhala svarovým kovem.

Pro zajištění bezproblémového rozlomení zkušebních vzorků, byly tyto vzorky po vizuální kontrole opatřeny vrubem.

Obr. 37 Zkušební délka zkušebního vzorku s vrubem



Zdroj: ČSN EN 287-1

4.3.2. Vyhodnocení zkušebních vzorků

Výsledky všech zkoušek se musí zadokumentovat. Zkušební kusy musejí být hodnoceny podle požadavků specifikovaných pro příslušné druhy vad.

Před začátkem každého zkoušení musí být zkontrolováno:

- zda-li jsou struska a rozstřík svarového kovu odstraněny
- zda-li není broušen kořen a líc svaru
- zda-li je označeno místo přerušení a nového napojení v kořeni a krycí vrstvě svaru
- tvar a rozměry posuzovaného vzorku.

Svářeč, respektive vzorek, vyhověl zkoušce, pokud jsou vady v mezích stanovených pro stupeň jakosti B dle ČSN EN ISO 5817 (viz příloha 8) s výjimkou následujících vad:

- nadměrné převýšení tupého svaru
- nadměrné převýšení kořene.

Vady vycházející z hrany zkoušeného vzorku v průběhu zkoušení se nehodnotí, pokud není prokázáno, že jsou trhliny způsobeny neprůvarem, struskou či jinou vadou. Zjištěné vady se označují ve zkušebním protokolu následujícím způsobem:

například nadměrné převýšení tupého svaru – vada 502 - nese označení: Vada ISO 6520-1-502.

4.3.3. Vizuální kontrola svaru na tupo dle EN 970

Kritériem vizuální zkoušky je, aby svar vyhověl všem požadavkům daných normou a mohlo se přistoupit ke zkoušce rozlomením.

Význam číselného označení vad svarových spojů je uveden v příloze 2. V následujících tabulkách je uveden soubor dvaceti zkušebních vzorků, které byly hodnoceny v průběhu jednoho roku u svářečů zkoušených podle EN 287-1 žádajících prodloužení platnosti certifikátů příslušných oprávnění uvedených ve svářečských průkazech. Měření převýšení V svaru na tupo je zachyceno na fotografii č. 13 (příloha 9).

Než se přistoupí ke zkoušce rozlomením, tak se hodnotí vizuální kontrolou provedení kořenové a krycí housenky a zaprotokolují se jednotlivé zjištěné vady.

Tab. 10 Vizuální vady kořenového V svaru na tupo metodou svařování 111

111 P BW 1.1 B t6 PA ss ml			
	Označení vady kořenového svaru		
Poř. č.	515	504	bez vady
1			x
2		x	
3	x		
4			x
5			x
6		x	
7	x		
8			x
9		x	
10		x	
11			x
12			x
13		x	
14		x	
15			x
16		x	
17			x
18	x		
19		x	
20	x		

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 515 – hubený kořen
- vada 504 – krápník.

Tab. 11 Vizualní vady kořenového V svaru na tupo metodou svařování 135

135 P BW 1.1 S t6 PA ss ml			
	Označení vady kořenového svaru		
Poř. č.	515	504	bez vady
1			x
2			x
3		x	
4			x
5	x		
6			x
7	x		
8	x		
9			x
10			x
11		x	
12	x		
13			x
14			x
15			x
16		x	
17	x		
18	x		
19			x
20			x

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 515 – hubený kořen
- vada 504 – krápník.

Následně jsou získaná data z tabulek vizuálních vad kořenových svarů (Tab. 10 a 11) zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti výskytu vizuální kořenové vady svaru na použité metodě svařování, jak je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 12 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady kořenového svaru)

Četnost vad			
	515	504	bez vady
Metoda 111	4	8	8
Metoda 135	6	3	11

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	3	20	6,67	5,33
Metoda 135	3	20	6,67	16,33
515	2	10	5	2
504	2	11	5,5	12,5
bez vady	2	19	9,5	4,5

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F_{krit}
Řádky	0	1	0	0	1	18,51
Sloupce	24,33	2	12,17	1,28	0,44	19
Chyba	19	2	9,5			
Celkem	43,33	5				

Na základě provedené analýzy ($F_{krit} > F$) můžeme konstatovat, že v tomto případě, kdy se kořenové housenky prováděly dvěma rozdílnými svařovacími metodami, tak s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda neovlivňuje četnost a druh výskytu vizuální vady kořenového svaru; odchylky mezi jednotlivými údaji v tabulce vad jsou náhodného rázu.

Následně jsou v následujících tabulkách (Tab.13 a 14) uvedeny zjištěné vady krycí vrstvy V svaru metody svařování 111 a 135.

Tab. 13 Vizuální vady krycí vrstvy V svaru na tupo metodou svařování 111

111 P BW 1.1 B t6 PA ss ml				
Označení vady krycího svaru				
Poř. č.	5012	5071	511	bez vady
1				x
2	x			
3		x		
4				x
5				x
6	x			
7	x			
8				x
9			x	
10			x	
11		x		
12				x
13	x			
14		x		
15				x
16			x	
17				x
18				x
19				x
20			x	

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 5012 – nesouvislý zápal
- vada 5071 – lineární přesazení
- vada 511 – neúplné vyplnění svaru

Tab. 14 Vizuelní vady krycí vrstvy V svaru na tupo metodou svařování 135

135 P BW 1.1 S t6 PA ss ml				
Označení vady krycího svaru				
Poř. č.	502	5071	511	bez vady
1				x
2				x
3	x			
4	x			
5	x			
6	x			
7				x
8		x		
9			x	
10			x	
11				x
12		x		
13				x
14				x
15				x
16			x	
17		x		
18			x	
19			x	
20				x

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 502 – převýšení
- vada 5071 – lineární přesazení
- vada 5061 – neúplné vyplnění svaru.

Následně jsou získaná data z tabulek vizuelních vad krycích svarů (Tab. 13 a 14) zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti výskytu vizuelní vady svaru na použité metodě svařování, jak je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 15 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady krycího svaru)

Četnost vad			
	5071	511	bez vady
Metoda 111	3	4	9
Metoda 135	3	5	8

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	3	16	5,33	10,33
Metoda 135	3	16	5,33	6,33
5071	2	6	3	0
511	2	9	4,5	0,5
bez vady	2	17	8,5	0,5

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota	
					P	F _{krit}
Řádky	0	1	0	0	1	18,51
Sloupce	32,33	2	16,17	32,33	0,03	19
Chyba	1	2	0,5			
Celkem	33,33	5				

Po zpracování dat četností výskytu bezchybně provedených spojů, můžeme konstatovat, že s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda ($F_{krit} > F$, Řádky) neovlivňuje četnost výskytu bezchybně hodnoceného svarového spoje.

Ani nelze jednoznačně rozhodnout, s jakou metodou svařování docílíme většího počtu bezvadně hodnocených svarů ($F_{krit} < F$, Sloupce).

U metody svařování 111 se u některých vzorků vyskytovala vada ISO 6520-1-5012 (nesouvislý zápal) a u metody svařování 111 vada ISO 6520-1-502 (převýšení).

4.3.4. Vyhodnocení vad svaru po rozlomení dle ČSN EN 1320

Jestliže zkušební svar vyhověl vizuální zkoušce, pak je možno provést zkoušku rozlomením. Jednotlivé zjištěné vady jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 16 Vady po rozlomení svarů zhotovených metodou svařování 111

111 P BW 1.1 B t6 PA ss ml				
Poř. č.	Označení vady svaru			
	2011	2013	3012	bez vady
1				x
2	x			
3	x			
4				x
5				x
6			x	
7			x	
8				x
9		x		
10	x			
11	x			
12				x
13		x		
14	x			
15				x
16			x	
17				x
18				x
19				x
20	x			

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 2011 – bublina
- vada 2013 – shluk pórů
- vada 3012 – struskový vměstek.

Tab. 17 Vady po rozlomení svarů zhotovených metodou svařování 135

135 P BW 1.1 S t6 PA ss ml			
	Označení vady svaru		
Poř. č.	2011	2013	bez vady
1			x
2			x
3		x	
4			x
5	x		
6			x
7	x		
8			x
9			x
10	x		
11		x	
12	x		
13			x
14			x
15			x
16	x		
17			x
18			x
19			x
20			x

Vady svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1:

- vada 2011 – bublina
- vada 2013 – shluk pórů.

Následně byla získaná data z tabulky vad svarů po rozlomení (Tab.16 a 17) zpracována pomocí statistické analýzy ANOVA za účelem zjištění možné závislosti vady svaru po rozlomení.

Tab. 18 Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vady po rozlomení svarů na tupo)

Četnost vad			
	2011	2013	bez vady
Metoda 111	6	2	9
Metoda 135	5	2	13

Anova: dva faktory bez opakování

Faktor	Počet	Součet	Průměr	Rozptyl
Metoda 111	3	17	5,67	12,33
Metoda 135	3	20	6,67	32,33
2011	2	11	5,5	0,5
2013	2	4	2	0
bez vady	2	22	11	8

ANOVA

Zdroj variability	SS	Rozdíl	MS	F	Hodnota P	F_{krit}
Řádky	1,5	1	1,5	0,43	0,58	18,51
Sloupce	82,33	2	41,17	11,76	0,08	19
Chyba	7	2	3,5			
Celkem	90,83	5				

Na základě provedené analýzy lze konstatovat, že s pravděpodobností 95 % použitá svařovací metoda ($F_{krit} > F$) neovlivňuje četnost výskytu bezchybně hodnoceného svarového spoje. Výskyt jednotlivých vad svarů je náhodný.

4.4. Příčiny vad a opatření k jejich zamezení

Pod pojmem vada se rozumí jakákoli odchylka od dokonalého stavu, a proto je naším cílem vadám svarových spojů pokud možno předcházet a vyvarovat se jim. Roztřídění jednotlivých typů vad svarových spojů je podle ČSN EN ISO 6520-1 do šesti skupin (viz příloha 2).

U jednotlivých posuzovaných zkušebních vzorků se vyskytly vady ze skupiny vad s počátečním číselným označením 2, 3 a 5. Na tyto vady má vliv

především míra zručnosti svářeče, svařovací stroj a příslušenství, ale i možné podcenění technologických postupů.

V dalším textu se omezím pouze na takové příčiny vad, které mohly přímo souviset s posuzovanými vzorky – svářeči. Hrubou technologickou nekázeň, jako je nedostatečná příprava povrchu svařovaných částí a použití nesprávného přídavného materiálu nebudu uvažovat, jelikož se u zkoušených svářečů nevyskytla.

Skupina vad č. 2 (dutiny):

příčinou může být poškozený obal elektrody; nadměrná délka oblouku s nedostatečnou ochranou tavné lázně, aj.

Opatření k zamezení vzniku vad – pečlivě zkontrolovat vysušený obal elektrod (vyřadit elektrody s poškozeným obalem – praskliny apod.), při svařování dodržovat správnou rychlost postupu kladení housenky a délku oblouku.

Skupina vad č. 3 (pevné vměstky):

jediný typ této vady, která byla identifikována u metody svařování 111 byl struskový vměstek. Tato vada, jak uvádí MALINA [11, s. 98] ... *Struskové vměstky mohou vzniknout při svařování obalenou elektrodou, kdy excentrický obal nebo nadměrné foukání oblouku způsobí nerovnoměrné odtavování obalu, který se pak odlomí a zůstane v tavné lázni.*

Opatření k zamezení vzniku vad – jelikož se tato vada vyskytla spolu s vizuální vadou nadměrné převýšení a asymetrie svaru, tak dodržením správné postupové rychlosti svařování, délky oblouku a sklonu elektrody pro eliminaci jeho nadměrného foukání se lze této vady vyvarovat.

Poznámka: mezi kladením jednotlivých housenkami byla struska z předešlé vrstvy pečlivě odstraněna.

Skupina vad č. 5:

mezi tyto vady jsou mimo jiné zařazeny vady, které byly identifikovány vizuální zkouškou a to nadměrné převýšení, nadměrná asymetrie a překročení rozměru svaru. Jak uvádí MALINA [11, s. 99] ... *Nadměrně převýšený svar je přebytek svarového kovu na povrchu svaru. Příčinou je..., malá postupová rychlost...*

Nadměrná asymetrie koutového svaru vzniká většinou špatným příčným sklonem elektrody.

Nepravidelná šířka svaru je způsobena nepravidelným příčným kýváním elektrody, nepravidelný povrch svaru způsobuje především nepravidelná postupová rychlost.

Opatření k zamezení vzniku vad – dodržovat optimální plynulou postupovou rychlost svařování se správným sklonem svařovací elektrody.

5. Závěr

Aby vyhotovené svarové spoje byly bezpečné, je nutné mít nejenom teoretické znalosti, ale především musí být svářeči zruční při vlastním svařování. Mezi organizace zajišťující výuku budoucích odborníků bezesporu patří svářečské školy. A právě v rámci přezkoušení svářečů dle ČSN EN 287-1, tj. svářečů, kteří již absolvovali základní kurs svařování dle ČSN 05 0705 a jsou již zkušenými praktiky, byly hodnoceny jednotlivé vizuální vady třívrstvých koutových svarů a V svarů na tupo provedených na plechu, následně vady po rozlomení těchto zkušebních vzorků dle odpovídajících platných norem. Pro hodnocení mechanických vlastností svarových spojů nám slouží mimo jiné i zkoušky rozlomením, které nám poskytují informace o jednotlivých vadách v lomové ploše svaru. Tyto vady nepříznivě ovlivňují výsledné mechanické vlastnosti svaru a snižují jeho výslednou užitnou hodnotu.

Hodnocení vad probíhalo jednak u třívrstvých koutových svarů vyhotovených v poloze vodorovné šikmo shora (poloha PB) materiálově a rozměrově shodných zkušebních vzorků (ocel S235JRG2) svařených dvěma rozdílnými metodami svařování, a to ručním obloukovým svařováním obalenou elektrodou (metoda 111, za použití elektrody EB 121, \varnothing 3,2 mm) a obloukovým svařováním odtavující se elektrodou v aktivním plynu (metoda 135, drát OK.AUTROD 12.51, \varnothing 1,2 mm, ochranný plyn čisté CO₂) a vad dvouvrstvého V svaru na tupo metodou 111 v poloze vodorovné shora (PA), kdy kořenový svar byl proveden na plechu (ocel S235JRG2) obalenou elektrodou EB 121 \varnothing 2,5 mm a krycí svar obalenou elektrodou EB 121 \varnothing 3,15; na rozdíl od použití metody

svařování 135, kde byl jak kořenový tak krycí svar proveden drátem OK.AUTROD 12.51 Ø 1,2 mm v ochranném plynu C1 (čisté CO₂).

Jednotlivými metodami svařování byl získán soubor četnosti výskytu a druhu vad svarů. Následně byla provedena analýza s cílem zjistit, zda-li má vliv použitá svařovací metoda na četnost výskytu vad svarových spojů.

Po vyhodnocení získaných dat, za použití statistické analýzy ANOVA, mohu konstatovat, že použitá svařovací metoda neměla vliv na druh a četnost výskytu jednotlivých vad svarových spojů, ale pravděpodobnost výskytu bezchybně provedeného a hodnoceného koutového svarového spoje je u metody svařování 135 větší než u metody svařování 111.

Tento závěr koresponduje s poznatky učitelů svářečské školy, že svařovací metoda 135, oproti metodě 111, klade menší nároky na její zvládnutí a provedení bezchybných svarů.

U svarů provedených na tupu nebyla zjištěna žádná významná závislost mezi jednotlivými vadami svarů při použití dvou rozdílných metod svařování. Ovšem při použití metody svařování 111 nedochází k vadě ISO 6520-1-502 (převýšení) jako u metody 135, jelikož převýšení jde ručním obloukovým svařováním obalenou elektrodou rozvařit. Naproti tomu se u metody svařování 111 vyskytuje vada ISO 6520-1-5012 (ojedinělý zápal) a vada ISO 6520-1-3012 (struskový vměstek).

Dále se u svarů na tupu vyskytla vada lineární převýšení, která ovšem nesouvisí s použitou svařovací metodou, ale je způsobena nepozorností při stehování zkušebních kusů.

Dalším faktem také bylo, že jednotlivé svary byly provedeny zkušenými svářeči, takže hrubé technologické chyby při přípravě jednotlivých zkušebních vzorků a při vlastním svařování se nevyskytly. Většina vad svarů, které se vyskytly jdou na vrub malé a nerovnoměrné postupové rychlosti svařování a nevhodnému sklonu elektrody při kladení jednotlivých housenek.

Na základě těchto poznatků je třeba svářečům zdůraznit, že i když perfektně svařovaný vzorek po technologické stránce připraví, tak pokud se jim nepodaří udržet optimální svarový oblouk a správně formovat svarovou lázeň, tak se mohou vyskytnout vady svarových spojů snižující výslednou pevnost svaru.

Použité zdroje

- [1] BALEJ, Z., KUDĚLKA, V., OPLETAL, J. *Základní kurs svařování metodou 141*. 2. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS, 2009. 168 s. ISBN 80-866698-12-2.
- [2] BARTOŠ, J. *Základní kurs svařování metodou 111*. 2. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS, 2010. 200 s. ISBN 80-866698-17-3.
- [3] BENEŠ, A., et al. *Nauka o kovech*. 2. upravené vydání. Praha: SNTL, 1974. 356 s.
- [4] BERNASOVÁ, E., et al. *Svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1988. 200 s.
- [5] DRASTÍK, F., et al. *Atlas použití kovů ve strojírenství, elektrotechnice a v chemickém průmyslu*. 1. vydání. Praha: SNTL/ALFA, 1980. 548 s.
- [6] GRIMM, O., SEKYRA, V., *Příručka pro potrubáře*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1960. 312 s.
- [7] HLUCHÝ, M., et al. *Strojírenská technologie 1: nauka o materiálu*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1976. 360 s.
- [8] JEDLIČKA, J., HAUNER, M. *Svařování v otázkách a odpovědích*. 5. vydání. Praha: SNTL, 1973. 292 s.
- [9] KUNCIPÁL, J., et al. *Teorie svařování*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 272 s.
- [10] MACEK, K., et al. *Nauka o materiálu*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. 209 s. ISBN 80-01-01507-6.
- [11] MALINA, Z. *Základní kurs svařování MIG/MAG*. 7. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS, 2007. 168 s. ISBN 80-85771-19-X.
- [12] MINAŘÍK, V. *Základní kurs svařování metodou 311*. 4. vydání. Ostrava: ZEROSS, 2012. 156 s. ISBN 80-866698-20-3.
- [13] NÉMEC, J. *Spolehlivá životnost svařovaných částí*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1994. 121 s. ISBN 80-01-01176-3.
- [14] NOVOTNÝ, J., et al. *Technologie I*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství ČVUT, 1996. 227 s. ISBN 80-01-01420-7.

[15] ANB (Česká svářečská společnost). *Materiály a jejich svařitelnost*. 2. upravené vydání. Ostrava: ZEROSS, 2001. 294 s. ISBN 80-85771-85-3.

Internetové odkazy

[16] KOLAŘÍK, L. *Destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů materiálů* [online]. [cit. 2012-12-22]. URL:

<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/zkousky_svaru_ndt.pdf>.

[17] KOLAŘÍK, L. *Hodnocení svařitelnosti* [online]. [cit. 2012-12-18].

URL: <<http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/Svaritelnost.pdf>>.

[18] KOLAŘÍK, L. *Svařitelnost konstrukčních materiálů* [online]. [cit. 2012-12-22].

URL: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/svaritelnost_2.pdf>.

[19] McENERNEY, J. W. *Assessment of Lamellar Tearing* [online].

[cit. 2012-12-24]. URL: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/5123285-DkBdRe/Assessmentoflamellartearing.pdf>>.

[20] PILOUS, V. *Zkoušky materiálů a svarů* [online]. [cit. 2012-12-24].

URL: <http://www.zcu.cz/fpe/kmt/kat/Download/mttga/zkousky_mat_a_svaru.pdf>.

[21] RIEGER, M. *Ocelové konstrukce* [online]. [cit. 2012-12-23]. URL:

<<http://fast10.vsb.cz/odk/prednasok/prednaska1.pdf>>.

[22] SATNIHLAV, V. *Únava materiálu* [online]. [cit. 2012-12-22]. URL:

<<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=%C3%BA%20nava%20materi%C3%A1lu%20satnihlav&source=web&cd=1&ved=0CDMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fjaja.kn.vutbr.cz%2F~janirek2%2Fdok%2Fmaterialy%2F7tUnava.doc&ei=SsLaUIOBBu3U4QSlxYD4AQ&usg=AFQjCNH6RpVJ9PCfXKNOPU6kzVqv60AczQ&bvm=bv.1355534169,d.Yms&cad=rja>>.

[23] SCHWARZ, D. *Hodnocení svarových spojů* [online]. [cit. 2012-12-24].

URL: <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-2_Hodnocen%C3%AD%20svarov%C3%BDch%20spoj%C5%AF.pdf>.

[24] ZATLOUKAL, P. *Tepelné zpracování laserem* [online]. [cit. 2012-12-22].

URL: <<http://www.welding.cz/laser/tepelne.htm>>.

- [25] ANB České svářečské společnosti – odborné články [online].
[cit. 2012-12-22]. URL: <<http://www.cws-anb.cz/t.py>>.
- [26] *Kovy* [online]. [cit. 2012-12-18]. URL: <http://homel.vsb.cz/~khe0007/Predmety/Stavebni%20hmoty/Prednaska_kovy.pdf>.
- [27] Magazín praktického svařování – odborné články [online]. [cit. 2012-12-22].
URL: <<http://www.svarbazar.cz/phprs/index.php>>.
- [28] Svarinfo – odborné články [online]. [cit. 2012-10-10]. URL:
<<http://www.svarkainfo.ru/>>.
- [29] *Ukazovateľ celistvosti svarových spojů* [online]. [cit. 2012-12-23]. URL:
<http://histproject.no/sites/histproject.no/files/2_11_Pojem_praskania_pri_oceliach_-_Bernasovsky,_Mr%C3%A1z_a_Br_.pdf>.
- [30] ESAB Vamberk [online]. [cit. 2012-10-10]. URL: <<http://www.esab.cz/>>.
- [31] DRIML, B. *Kalení a popouštění* [online]. [cit. 2012-12-22].
URL: <www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep07.pdf>.

Seznam doporučených norem

ČSN EN ISO 17 641	Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů.
ČSN EN ISO 17 642	Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů.
ČSN 05 1144	Zkoušení ocelí na odolnost proti žíhací praskavosti.
ČSN 05 1314	Zkoušky odolnosti proti lamelární praskavosti.
ČSN EN ISO 4136	Příčná zkouška tahem.
ČSN EN 875	Zkouška rázem v ohybu.
ČSN EN ISO 7438	Zkouška ohybem.
ČSN EN ISO 9015	Zkoušky tvrdosti.
ČSN EN 1320	Zkouška rozlomením.
ČSN EN ISO 5817	Stupně jakosti svarů tavného svařování.
ČSN EN 1320	Zkouška rozlomením.
ČSN 42 0363	Zkoušky únavy kovů.
EN 970	Nedestruktivní zkoušení svarů – Visuální kontrola.
EN ISO 6947	Svařování – Pracovní polohy, aj.

Seznam tabulek, obrázků a fotografií v příloze 9

Seznam tabulek

Tab. 1	Doporučené teploty předehřevu uhlíkových ocelí	12
Tab. 2	Stupně odolnosti ocelí	24
Tab. 3	Vizuální vady koutových svarů metodou svařování 111	47
Tab. 4	Vizuální vady koutových svarů metodou svařování 135	48
Tab. 5	Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady)	49
Tab. 6	Vady po rozlomení koutových svarů metodou svařování 111	50
Tab. 7	Vady po rozlomení koutových svarů metodou svařování 135	51
Tab. 8	Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vady po rozlomení)	52
Tab. 9	Závislost výskytu bezvadného spoje před a po rozlomení	53
Tab. 10	Vizuální vady kořenového V svaru na tupo metodou svařování 111 ...	58
Tab. 11	Vizuální vady kořenového V svaru na tupo metodou svařování 135 ...	59
Tab. 12	Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady kořenového svaru)	60
Tab. 13	Vizuální vady krycí vrstvy V svaru na tupo metodou svařování 111	61
Tab. 14	Vizuální vady krycí vrstvy V svaru na tupo metodou svařování 135	62
Tab. 15	Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vizuální vady krycího svaru)	63
Tab. 16	Vady po rozlomení svarů zhotovených metodou svařování 111	64
Tab. 17	Vady po rozlomení svarů zhotovených metodou svařování 135	65
Tab. 18	Zpracování dat pomocí analýzy ANOVA (vady po rozlomení svarů na tupo)	66

Seznam obrázků

Obr. 1	Vliv tepelného účinku svařovacího procesu na strukturu svarového spoje s přeměnou ferit – austenit	13
Obr. 2	Výskyt studených trhlin koutových svarů	15
Obr. 3	Výskyt studených trhlin v tupém svarovém spoji	15
Obr. 4	Studená trhlina	16
Obr. 5	Příčný řez studenou trhlinou	17

Obr. 6	Zkouška Tekken	18
Obr. 7	Zkouška Implant	19
Obr. 8	Zkouška CTS	19
Obr. 9	Křížová zkouška	20
Obr. 10	Zkouška praskavosti tenkých plechů.....	20
Obr. 11	Horká trhlina	21
Obr. 12	Krystalizační a likvační trhlina	22
Obr. 13	Oblast vzniku krystalizační trhliny v místech rostoucích dendritů (a) a na hranicích buněk (b)	22
Obr. 14	Zkouška Transvarenstraint	23
Obr. 15	Zkouška krystalizační praskavosti	25
Obr. 16	Vyhodnocení likvační praskavosti	26
Obr. 17	Žíhací trhlina	26
Obr. 18	Výskyt žíhacích a podnávarových trhlin	27
Obr. 19	Izotermická zkouška – tělísko	29
Obr. 20	Schéma tahové zkoušky s pomalou deformací simulované hrubozrnné TOO	29
Obr. 21	Schéma zkoušky BWRA	30
Obr. 22	Lamelární trhlina_1	30
Obr. 23	Lamelární trhlina_2	31
Obr. 24	Úprava svarového spoje	32
Obr. 25	Cranfieldova zkouška	32
Obr. 26	Oknová zkouška	33
Obr. 27	Zkušební tyče	34
Obr. 28	Zkouška rázem v ohybu (vrub KCV)	35
Obr. 29	Vidalova křivka	36
Obr. 30	Zkouška ohybem	37
Obr. 31	Křivky únavy	39
Obr. 32	Příklad zkušebního vzorku	40
Obr. 33	Princip zkoušky rozlomením	41
Obr. 34	Tvar a rozměr zkušebních vzorků pro koutový svar na plechu	43
Obr. 35	Kladení housenek koutového svaru	45

Obr. 36	Tvar svarové plochy tupého jednostranného V svaru	54
Obr. 37	Zkušební délka zkušebního vzorku s vrubem	56

Seznam fotografií v příloze 9

Fotografie č. 1	– Polohovací autogenní hořák pro přípravu vzorků	97
Fotografie č. 2	– Zkušební vzorek před rozlomením na lisu	97
Fotografie č. 3	– Svářečka WTU pro metodu 111	98
Fotografie č. 4	– Svářečka pro metodu 135	98
Fotografie č. 5	– Převýšení koutového svaru, měření měrkou	99
Fotografie č. 6	– Nerovnoměrnost svaru	99
Fotografie č. 7	– Struskový vměstek	99
Fotografie č. 8	– Studený spoj	100
Fotografie č. 9	– Studený spoj (přetečení svarové housenky)	100
Fotografie č. 10	– Bublina	100
Fotografie č. 11	– Shluk pórů	101
Fotografie č. 12	– Rovnoměrná pórovitost	101
Fotografie č. 13	– Měření převýšení svaru na tupo	101

Seznam příloh

Součástí diplomové práce je CDROM, na kterém je tato práce uložena ve formátu PDF.

Příloha 1 ... Svařování – Směrnice pro zařazení svarových materiálů do skupin	78
Příloha 2 ... Číselné značení vad svarových spojů – výběr (ocel)	80
Příloha 3 ... Značení metod svařování - výňatek z ČSN ISO 4063	90
Příloha 4 ... Označení ochranných plynů pro svařování – výňatek z ČSN EN ISO 14 175	91
Příloha 5 ... Označení přídavných materiálů pro svařování	92
Příloha 6 ... Metodická pomůcka pro značení zkoušek svářečů	93
Příloha 7 ... Způsoby zkoušení	94
Příloha 8 ... Výběr z ČSN EN 25 817 – Směrnice pro určování stupňů jakosti	95
Příloha 9 ... Fotografie	97

Příloha 1: Svařování – Směrnice pro zařazení svarových materiálů do skupin

1. ROZDĚLENÍ OCELÍ DO SKUPIN A PODSKUPIN

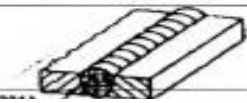



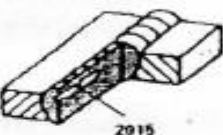
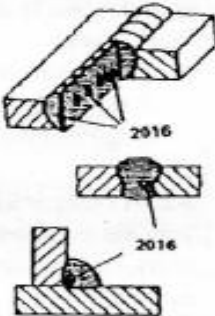
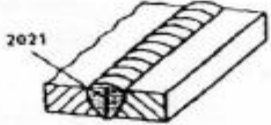
SKU-PINA	POD-SKU-PINA	DRUH OCELI	TDP podle ČSN, ČSN EN	OZNAČENÍ ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU podle		
				ČSN 42 0002	EN 10027-1	EN 10027-2
1	1.1	<i>Oceli se zaručenou mezí kluzu</i> $R_{eH} \leq 275 \text{ N/mm}^2$	10025	10 004	S185, Fe310-0	1.0035
			EN 80-69	10 216	Fe B22	
			EN 30-69	10 370	E37B1	
			10130-91	11 305	FeP04	
			10025	11 343, 11 373	S235JRG1	1.0036
				11 375	S235JRG2	1.0038
				11 378	S235J2G3	1.0116
				11 443	S275JR	1.0044
				11 448	S275J2G3	1.0144
			10305/1-3-03	11 353	E 235	1.0308
			10028-2	11 368	P235GH	1.0345
				11 416, 11 418	P265GH	1.0425
			10028-3		P275N (NH,NL1,NL2)	1.0486
			10113-3		S275M (ML)	1.8818
			10120		P245NB	1.0111
			10149-3		S260NC	1.0971
			10207		P265S	1.0130
			10208-1		L210GA	1.0319
					L235GA	1.0458
			10208-2		L245NB (MB)	1.0457
				15 020	16Mo3	1.5415
			10210-1	11 375	S235JRH	1.0039
				11 443	S275JOH	1.0149
				11 448	S275J2H	1.0138
			10213-2	42 2643	GP240GR	1.0621
	10213-3	42 2713	G17Mn5	1.1131		
	10084	12 020	C16E	1.1148		
	41 2021	12 021		1.1122		
	41 2022	12 022		1.1142		
	1.2	<i>Oceli se zaručenou mezí kluzu</i> $275 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 360 \text{ N/mm}^2$	41 0338	10 338		
			41 0425	10 425		
			10222/2-99	11 481	P305GH	1.0436
			10025		S355JR	1.0045
				11 523	S355JO	1.0053
				11 503	S355J2G3	1.0570
11 531				S355J2G4	1.0577	
10028-2			13 030	P295GH	1.0481	
				P355GH	1.0473	
10028-3			11 503	P355NL1	1.0566	
				P355N (NH, NL2)	1.0562	
10028-5				P355M (ML1, ML2)	1.8821	
10113-2				S355N (NL)	1.0562	
10113-3				S355 M (ML)	1.8823	
10120			11 419	P310NB	1.0437	
10149-2				S315MC	1.0972	
10149-3				S355NC	1.0977	
10208-1				L290GA	1.0483	
10208-2				L360NB	1.0582	
10210-1			11 523	S355JOH	1.0547	
			11 503	S355J2H	1.0576	
				S460NH	1.8953	
10213-2			42 2412	GP280GH	1.0625	
10213-3	42 2714	G20Mn5	1.6220			
10028-6		P355Q (QH, QL1, QL2)	1.8866			

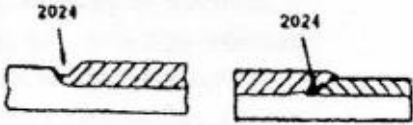
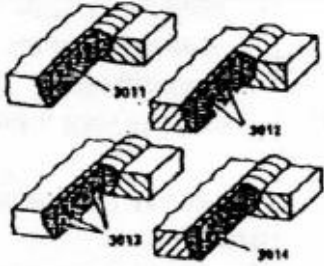
SKU-PINA	POD-SKU-PINA	DRUH OCELI	TDP podle ČSN, ČSN EN	OZNAČENÍ ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU podle		
				ČSN 42 0002	EN 10027-1	EN 10027-2
1	1.3	Normalizované jemnozrnné oceli se zaručenou mezí kluzu $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$	41 3220	13 220		
			41 3221	13 221		
			10028-3		P460N (NH, NL1, NL2)	1.8905
			10113-2		S420N	1.8902
			10149-3		S460NL	1.8915
			10208-2		S420NC	1.0981
			10248-1		L415NB	1.8972
	1.4	Oceli se zvýšenou odolností k atmosférické korozi, u kterých obsah prvků může překročit požadavky pro jednotlivé prvky stanovené pro skupinu 1	41 5117	15 117		
			41 5127	15 127		
			EN 10155-93	15 217	S355JOWP	1.8962
			41 5327	15 327		
			10155-96		S355JOWP	1.8945
					S355J2P	1.8946
					S235JOW	1.8958
					S235J2W	1.8961
					S355J2G1W	1.8963
					S355J2G2W	1.8965
					S355K2G1W	1.8966
			Termomechanicky zpracované jemnozrnné oceli a lité oceli se zaručenou mezí kluzu $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$			
2	2.1	TMZ jemnozrnné oceli a lité oceli se zaručenou mezí kluzu $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 460 \text{ N/mm}^2$	10028-5		P420M (ML1, ML2)	1.8824
					P460M (ML1, ML2)	1.8826
			10113-3		S420M (ML)	1.8825
					S460M (ML)	1.8827
			10149-2		S420MC	1.0980
					S460MC	1.0982
			10208-2		L415MB	1.8973
					L450MB	1.8975
	2.2	TMZ jemnozrnné oceli a lité oceli se zaručenou mezí kluzu $R_{eH} > 460 \text{ N/mm}^2$	10219-1		S420MH (MLH)	1.8847
					S460MH (MLH)	1.8850
			10222-4		P420NH	1.8932
			10149-2		S550MC	1.0986
					S600MC	1.8969
					S650MC	1.8976
10208-2		S700MC	1.8974			
		L485MB	1.8977			
		L555MB	1.8978			
Zušlechtnuté a precipitačně vytvrzované oceli kromě korozivzdorných ocelí, se zaručenou mezí kluzu $R_{eH} > 360 \text{ N/mm}^2$						
3	3.1	Zušlechtnuté oceli a lité oceli se zaručenou mezí kluzu $360 \text{ N/mm}^2 < R_{eH} \leq 690 \text{ N/mm}^2$	10137-2	16 224	S690QL	1.8928
			10028-6		P460Q (QH, QL1, QL2)	1.8870
					P500Q (QH, QL1, QL2)	1.8873
					P690Q (QH, QL1, QL2)	1.8879
					S460Q (QL, QL1)	1.8908
			10137-2		S500Q (QL, QL1)	1.8924
					S550Q (QL, QL1)	1.8904
					S620Q (QL, QL1)	1.8914
					S690Q (QL, QL1)	1.8931
				10208-2		L415QB
					L450QB	1.8952
	L485QB	1.8955				
	L550QB	1.8957				
10222-4		P420QH	1.8936			

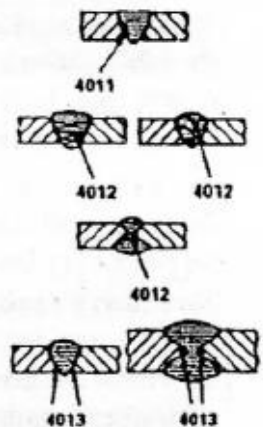
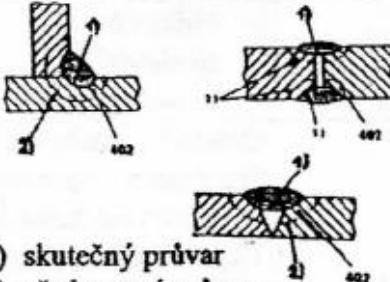
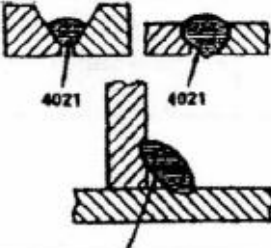
Příloha 2: Číselné značení vad svarových spojů dle ČSN EN ISO 6520-1

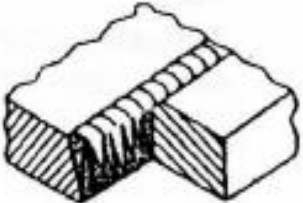
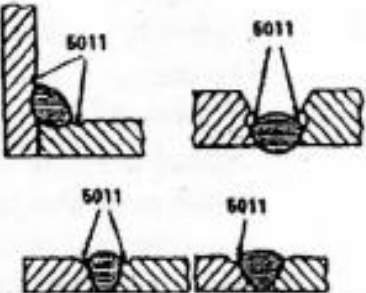
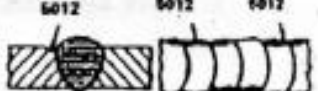
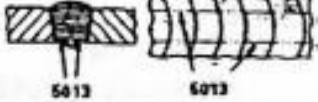


Ref. č.	Označení a vysvětlení	Vyobrazení
1	2	3
Skupina č.1 Trhliny		
100	Trhlina Vada způsobená místním porušením v tuhém stavu, která může vzniknout vlivem ochlazování nebo napětí.	
1001	Mikrotrhlina Trhlina pozorovatelná pouze pod mikroskopem.	
101	Podélná trhlina Trhlina převážně rovnoběžná s osou svaru. Může se vyskytovat:	



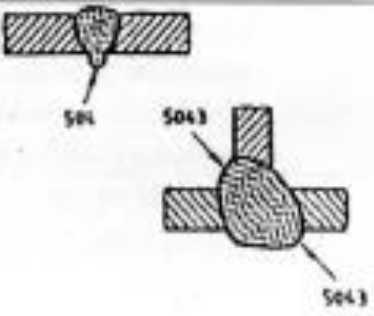
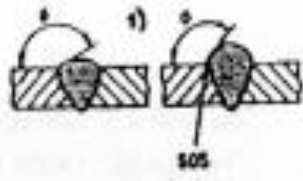

1011 1012 1013 1014	<ul style="list-style-type: none"> - ve svarovém kovu - na hranici natavení - v tepelně ovlivněné oblasti - v základním materiálu 	
102 1021 1023 1024	<p>Příčná trhlina Trhlina převážně kolmá na osu svaru. Může se vyskytovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ve svarovém kovu - v tepelně ovlivněné oblasti - v základním materiálu 	
103 1031 1033 1034	<p>Hvězdicová trhlina Trhliny vyběhající z jednoho společného bodu. Mohou se vyskytovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ve svarovém kovu - v tepelně ovlivněné oblasti - v základním materiálu 	
104 1045 1046 1047	<p>Kráterová trhlina Trhlina v kráteru na konci svarové housenky, která může být:</p> <ul style="list-style-type: none"> - podélná - příčná - hvězdicová 	
105 1051 1053 1054	<p>Skupina nespojitých trhlin v libovolném směru, které se mohou vyskytovat:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ve svarovém kovu - v tepelně ovlivněné oblasti - v základním materiálu 	

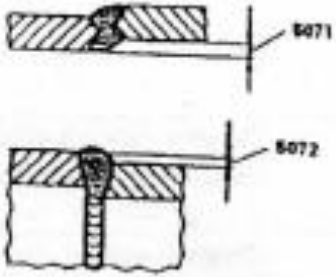
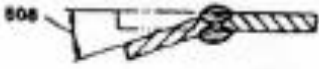
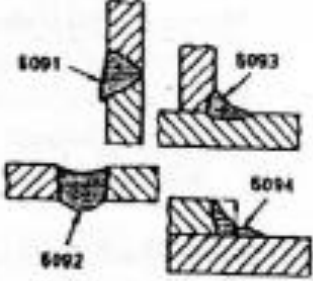
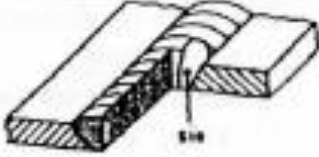

Skupina č.2 Dutiny		
200	Dutina	
201	Pór (plynová dutina) Dutina vytvořená uzavřeným plynem.	
2011	Bublina Plynová dutina převážně kulovitého tvaru.	
		2011
2012	Rovnoměrná pórovitost Několik bublin rozmístěných přiměřeně rovnoměrným způsobem ve svarovém kovu; nezaměnit s řádkem pórů (2014) nebo shlukem pórů (2013).	
2013	Shluk pórů Skupina bublin s nahodilým geometrickým rozmístěním.	
2014	Řádek pórů Řada bublin orientovaná rovnoběžně s osou svaru.	
2015	Protáhlý pór Velká nekulovitá dutina s největším rozměrem orientovaným přibližně rovnoběžně s osou svaru.	
2016	Červovitý pór Trubičkovitá dutina ve svarovém kovu způsobená uvolňováním plynu. Tvar a umístění červovitých dutin závisí na způsobu tuhnutí a na zdroji plynu. Obecně jsou seskupeny ve shlucích a rozmístěny ve tvaru rybí kosti. Některé červovité dutiny mohou vystupovat na povrch svaru.	
2017	Povrchový pór Bublina, která vystupuje na povrch svaru.	
202	Staženina Dutina způsobená smrštěním během tuhnutí.	
2021	Mezidendritická staženina Protáhlá staženina vytvořená mezi dendrity během tuhnutí, která může obsahovat uzavřený plyn. Tato vada se obecně vyskytuje kolmo k povrchu svaru.	

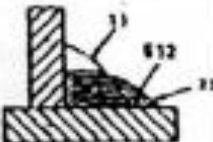

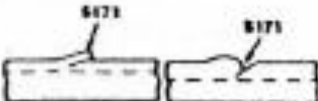
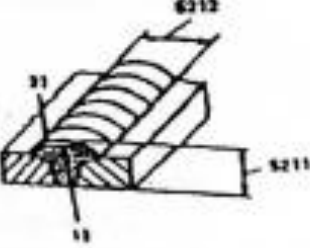
2024	Kráterová staženina Staženina na konci svarové housenky, která nebyla odstraněna před nebo během následujících svarových housenek.	
*2025	Koncová kráterová staženina Otevřený kráter zmenšující průřez svaru.	
*203	Mikrostaženina Staženina pozorovatelná pouze pod mikroskopem.	
*2031	Mezidendritická mikrostaženina Prodloužená staženina vytvořená během tuhnutí mezi dendrity podél hranic zrn.	
*2032	Transkrystalická mikrostaženina Protáhlá staženina probíhající napříč zrny během tuhnutí.	
Skupina č.3 Pevné vměstky		
300	Pevný vměstek Tuhá cizí látka zachycená ve svarovém kovu.	
301	Struskový vměstek Struska uzavřená ve svarovém kovu. Podle podmínek vzniku mohou být tyto vměstky:	
3011	- řádkové	
3012	- ojedinělé	
*3014	- ve shluku	
303	Oxidický vměstek Oxid kovu uzavřený ve svarovém kovu během tuhnutí. Tyto vměstky mohou být:	
*3031	- řádkové	
*3032	- ojedinělé	
*3033	- ve shluku	

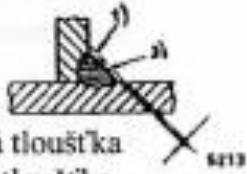
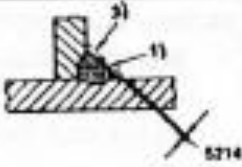
3034	<p>Oxidický povlak (svrašnění) V určitých případech, zejména u hliníkových slitin, se může vyskytovat rozsáhlý oxidický povlak způsobený kombinací nedostatečné ochrany proti přístupu vzduchu a turbulence ve svarové lázni.</p>	
304 3041 3042 3043	<p>Kovový vměstek Částice cizího kovu uzavřená ve svarovém kov. Může to být:</p> <ul style="list-style-type: none"> - wolfram - měď - jiný kov 	
<p>Skupina č.4 Studené spoje a neprůvary</p>		
400	<p>Studený spoj a neprůvar</p>	
401 4011 4012 4013	<p>Studený spoj Nedostatečné spojení (natavením) mezi svarovým kovem a základním materiálem nebo mezi jednotlivými vrstvami svarového kovu. Může se vyskytnout jeden z následujících případů:</p> <ul style="list-style-type: none"> - studený spoj na svarové ploše - studený spoj mezi housenkami - studený spoj v kořeni 	 <p>The diagrams illustrate three types of cold joints: 4011 shows a defect on the weld surface; 4012 shows a defect between ripples; 4013 shows a defect at the root of the weld.</p>
402	<p>Neprůvar (nedostatečný průvar) Rozdíl mezi skutečným a předepsaným průvarem.</p>	 <p>The diagrams compare a 'skutečný průvar' (actual penetration) with a 'předepsaný průvar' (specified penetration). The actual penetration is shown as being shallower than the specified one.</p> <p>1) skutečný průvar 2) předepsaný průvar</p>
4021	<p>Neprovařený kořen Jedna nebo obě svarové plochy kořene svaru nejsou nastaveny.</p>	 <p>The diagram shows a T-joint weld where the root is not properly fused, labeled as 4021.</p>

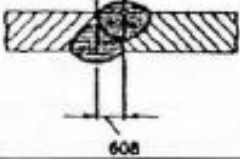


*403	<p>Jehlice Extrémně nestejný průvar vyskytující se při elektronovém a laserovém svařování jeví se jako zub pily. Tato vada může zahrnovat dutiny, trhliny, staženiny, atd.</p>	
<p>Skupina č.5 Vady tvaru a rozměru</p>		
500	<p>Vada tvaru Nesprávný tvar vnějších povrchů svaru nebo nepřístupná geometrie svarového spoje.</p>	
*501	<p>Zápal Nepravidelný vrub na přechodu housenky do základního materiálu nebo do dřívě navařeného svarového kovu způsobený svařováním.</p>	
5011	<p>Souvislý zápal Vrub značné délky bez přerušení.</p>	
5012	<p>Nesouvislé zápaly Nesouvislé vruby malé délky podél svaru.</p>	
5013	<p>Vruby v kořeni Vruby viditelné na každé straně kořenové housenky.</p>	
*5014	<p>Vrub mezi housenkami Vrub probíhající v podélném směru mezi jednotlivými svarovými housenkami.</p>	
*5015	<p>Místní zápaly Krátké vruby nepravidelně rozmístěné na stranách svarových housenek nebo na jejich povrchu.</p>	

<p>502</p>	<p>Nadměrné převýšení tupého svaru Přebytečný svarový kov na lici straně tupého svaru.</p>	 <p>1) běžné</p>
<p>503</p>	<p>Nadměrné převýšení koutového svaru Přebytek svarového kovu na lici straně koutového svaru.</p>	 <p>1) běžné</p>
<p>504</p> <p>5041</p> <p>*5042</p> <p>*5043</p>	<p>Nadměrné převýšení kořene Přebytek svarového kovu vyčnívající z kořene svaru. Tímto může být:</p> <p>Krápník</p> <p>Souvislé nadměrné převýšení kořene</p> <p>Protavení</p>	
<p>505</p>	<p>Strmý přechod svaru Příliš malý úhel (α) mezi rovinou povrchu základního materiálu a tečnou rovinou k povrchu svarové housenky na přechodu svaru.</p>	 <p>1) běžné</p>
<p>506</p> <p>*5061</p> <p>*5062</p>	<p>Přetečení Přebytek svarového kovu překrývající povrch základního materiálu bez jeho natavení.</p> <p>Přetečení krycí vrstvy Přetečení na lici straně svaru.</p> <p>Přetečení kořenové vrstvy Přetečení na straně kořene svaru.</p>	

<p>507</p> <p>*5071</p> <p>*5072</p>	<p>Lineární přesazení Přesazení mezi dvěma svařovanými díly jejichž povrchové plochy jsou rovnoběžné, ale neleží ve stejné rovině. Tímto může být: Lineární přesazení mezi plechy Díly jsou plechy. Lineární přesazení mezi trubkami Díly jsou trubky.</p>	
<p>508</p>	<p>Úhlové přesazení Přesazení mezi dvěma svařovanými díly, jejichž povrchové plochy nejsou rovnoběžné nebo pod požadovaným úhlem.</p>	
<p>509</p> <p>5091</p> <p>5092</p> <p>5093</p> <p>5094</p>	<p>Proláklina Sesunutí (prověšení) svarového kovu způsobené zemskou přitažlivostí. Podle okolností jimi může být:</p> <ul style="list-style-type: none"> - proláklina v poloze vodorovné - proláklina v poloze vodorovné shora nebo vodorovné nad hlavou - proláklina v koutovém svaru - proláklina (odtavení) na okraji svaru. 	
<p>510</p>	<p>Díra Propadnutí tavné lázně způsobující průchozí otvor ve svaru.</p>	
<p>511</p>	<p>Neúplné vyplnění svaru Podélný souvislý nebo přerušovaný žlábek na povrchu svaru způsobený pokládáním nedostatečného množství přídavného materiálu.</p>	

<p>512</p>	<p>Nadměrná asymetrie koutového svaru Vysvětlení není nutné.</p>	 <p>1) jmenovitý tvar 2) skutečný tvar</p>
<p>513</p>	<p>Nepravidelná šířka Nadměrná proměnlivost šířky svaru.</p>	
<p>514</p>	<p>Nepravidelný povrch Nadměrná nerovnost povrchu.</p>	
<p>515</p>	<p>Hubený kořen Mělká prohlubeň v kořeni způsobená smrštěním svarového kovu u tupého svaru (také viz. 5013).</p>	
<p>516</p>	<p>Pórovitost kořene Houbovitý útvar v kořeni svaru způsobený tvorbou bublin ve svarovém kovu při tuhnutí.</p>	
<p>517 *5171 *5172</p>	<p>Vadné napojení Místní nepravidelnost povrchu v napojení svarové housenky. Může se vyskytovat - v krycí housence - v kořenové housence</p>	
<p>*520</p>	<p>Nadměrná deformace Rozměrová odchylka způsobená smrštěním a deformací svarů.</p>	
<p>*521</p>	<p>Nesprávný rozměr svaru Odchylka od předepsaného rozměru svaru.</p>	
<p>*5211</p>	<p>Nadměrná tloušťka svaru Tloušťka svaru je příliš velká.</p>	
<p>*5212</p>	<p>Nadměrná šířka svaru Šířka svaru je příliš velká.</p>	

*5213	Podkročení velikosti koutového svaru Skutečná tloušťka koutového svaru je příliš malá.	 1) jmenovitá tloušťka 2) skutečná tloušťka
*5214	Překročení velikosti koutového svaru Skutečná tloušťka koutového svaru je příliš velká.	
Skupina č.6 Různé vady		
600	Různé vady Všechny vady, které nemohou být zařazeny do skupin 1 až 5.	
601	Dotyk elektrodou Místní poškození povrchu základního materiálu vedle svaru způsobené hořením oblouku nebo jeho zapálením mimo svarovou mezeru	
602	Rozstřík Kapky svarového kovu nebo přidavného materiálu, vznikající během svařování, které ulpívají na povrchu základního materiálu nebo tuhneho svarového kovu.	
6021	Rozstřík wolframu Částice wolframu přenesené z elektrody na povrch základního materiálu nebo tuhneho svarového kovu.	
603	Vytržený povrch Poškození povrchu způsobené při odstranění dočasně přivařených pomocných prvků.	
604	Stopa po broušení Místní poškození způsobené broušením.	
605	Stopa po sekání Místní poškození způsobené použitím sekáče nebo jiného nástroje.	

606	Podbroušení Nedostatečná tloušťka svarku způsobená nadměrným broušením.	
*607	Vada stehu Vada způsobená vadným stehováním, např.:	
*6071	- přerušená housenka nebo nenatavení	
*6072	- vadný steh byl převařen	
*608	Přesazení protilehlých housenek Rozdíl mezi osami dvou housenek zhotovených z protilehlých stran svarového spoje.	
*610	Náběhové zbarvení (viditelný oxidický povlak) Lehce zoxidovaný povrch v oblasti svaru, např. u ocelí odolávajících korozi.	
*613	Okujený povrch Silně zoxidovaný povrch v oblasti svaru.	
*614	Zbytek tavidla Zbytek tavidla není dostatečně odstraněn z povrchu.	
*615	Zbytek strusky Ulpívající struska není dostatečně odstraněna z povrchu svaru.	
*617	Špatné sestavení koutových svarů Nadměrně velká nebo nedostatečná mezera mezi svařovanými díly.	
*618	Bobtnání Vada způsobená přehřátím (spálením) svarových spojů lehkých slitin v důsledku prodloužené doby výdrže ve fázi tuhnutí.	

Poznámka: v tabulce sloupec 1 obsahuje trojmístná referenční čísla pro hlavní vady a čtyřmístná referenční čísla pro přidružené termíny.

Příloha 3: Značení metod svařování - výňatek z ČSN ISO 4063**A) Metody tavného svařování(0)**

1. Svařování elektrickým obloukem (1)
 - a) Obloukové svařování tavící se elektrodou(101)
 - b) Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)
 - c) Gravitační obloukové svařování obalenou elektrodou(112)
 - d) Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu(114)
 - e) Vibrační svařování a navařování
 - f) Pod tavidlem(12)
 - g) Obloukové svařování v ochranné atmosféře(13)
 - h) Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu-MIG (131)
 - i) Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu-MAG(135)
 - j) Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu (136)
 - k) Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu(137)
 - l) Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu-WIG (141)
2. Elektrostruskové svařování(72)
3. Svařování plazmové(15)
4. Svařování plazmové MIG svařování(151)
5. Svařování magneticky ovládaným obloukem(185)
6. Elektronové svařování (76)
7. Plamenové svařování(3)
 - a)kyslíko-acetylenové svařování(311)
 - b)kyslíko-vodíkové svařování(313)
8. Svařování slévárenské
9. Svařování světelným zářením(75)
10. Laserové svařování(751)
11. Aluminotermické svařování(71)
12. Elektroplynové svařování(73)
13. Indukční svařování(74)

Příloha 4: Označení ochranných plynů pro svařování – výňatek z ČSN EN ISO 14 175

Označení ochranných plynů pro svařování

Označení	Popis ochranného plynu
C1	Čistý kysličník uhličitý
C2	Kysličník uhličitý + 0,5-30% kyslíku
I1	Čistý argon
I2	Čisté hélium
I3	0-95% hélium zbytek argon
M11	Argon + 0,5-5% kysličníku uhličitého + 0,5-5% vodíku
M12	Argon + 0,5-5% kysličníku uhličitého
M13	Argon + 0,5-3% kyslíku
M14	Argon + 0,5-5% kysličníku uhličitého + 0,5-3% kyslíku
M20	Argon + 5-15% kysličníku uhličitého
M21	Argon + 15-25% kysličníku uhličitého
M22	Argon + 3-10% kyslíku
M23	Argon + 0,5-5% kysličníku uhličitého + 3-10% kyslíku
M24	Argon + 5-15% kysličníku uhličitého + 0,5-3% kyslíku
M25	Argon + 5-15% kysličníku uhličitého + 3-10% kyslíku
M26	Argon + 15-25% kysličníku uhličitého + 0,5-3% kyslíku
M27	Argon + 15-25% kysličníku uhličitého + 3-10% kyslíku
M31	Argon + 25-50% kysličníku uhličitého
M32	Argon + 10-15% kyslíku
M33	Argon + 55-50% kysličníku uhličitého + 2-10% kyslíku
M34	Argon + 5-25% kysličníku uhličitého + 10-15% kyslíku
M35	Argon + 25-50% kysličníku uhličitého + 10-15% kyslíku
N1	Čistý dusík
N2	Argon + 0,5-5% dusíku
N3	Argon + 5-50% dusíku
N4	Dusík + 0,5-50% vodíku
O	Čistý kyslík
R1	Argon + 0-15% vodíku
R2	Argon + 15-50% vodíku
Z	Směsi plynů obsahující neuvedené složky nebo směsi se složením mimo uvedený rozsah

Příloha 5: Označení přídavných materiálů pro svařování

Označení přídavných materiálů pro svařování

Označení	Popis přídavného materiálu
A	kyselý obal
AG	stříbrná pájka
AL	hliníková pájka
AU	pájka s obsahem zlata
B	bazický obal
C	celulózový obal
CO	kobaltová pájka
CP	měď - fosfor
CU	měděná pájka
M	plněná elektroda - kovový prášek
NI	Niklová pájka
P	plněná elektroda - rutilová, rychle chladnoucí struska
PD	pájka s obsahem palladia
R	rutilový obal
RA	rutil - kyselý obal
RB	rutil - bazický obal
RC	rutil - celulózový obal
RR	rutilový obal (tlustý)
S	ostatní typy obalu elektrody
V	plněná elektroda rutilová nebo bazická / fluoridy
W	plněná elektroda bazická / fluoridy, pomalu tuhající struska
Y	plněná elektroda bazická / fluoridy, rychle tuhající struska
Z	plněná elektroda, ostatní typy
nm	bez přídavného materiálu
wm	s přídavným materiálem

Příloha 6: Metodická pomůcka pro značení zkoušek svářečů

Metodická pomůcka – výběr z normy ČSN EN 287-1:2004

Svařování - Zkoušky svářečů. Tavné svařování. Část 1: Oceli

Úvod – Tato metodická pomůcka slouží pro rychlou orientaci ve významu označení zkoušky podle výše uvedené normy, která vyšla v listopadu 2004 a nahrazuje tak normu ČSN EN 287-1 z listopadu 1995.

OZNAČENÍ ZKOUŠKY

ČSN EN 287-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Např.:	311 ¹	T ²	BW ³	1.1 ⁴	S ⁵	t4 ⁶	D76 ⁷	PF ⁸	ss ⁹	nb ¹⁰	rw ¹¹

<p>1. Metody svařování:</p> <p>111 – ruční obloukové svařování obalenou elektrodou 114 – obloukové svař. plněnou elektrodou bez ochranného plynu 121 – svařování pod tavidlem s drátovou elektrodou 131 – obloukové svařování tavicí se elektrodou v inertním plynu 135 – obloukové svařování tavicí se elektrodou v aktivním plynu 136 – obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu 137 – obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu 141 – obloukové svař. netavicí se elektrodou v inertním plynu 15 – plazmové svařování 311 – kyslíko-acetylenové svařování</p>	<p>2. Polotovary:</p> <p>P – plech T – trubka</p>	<p>5. Specifikace přídavného materiálu:</p> <p>nm – bez přídavného materiálu, S – plný drát / tyčinka A – kyselý obal; B – bazický obal; R – rutilový obal; C – celulóznový obal RA – rutil-kyselý obal, RB – rutil-bazický obal; RR – rutilový obal (tustý); RC – rutil-celulóznový obal M – plněná elektroda – kovový prášek, B – plněná elektroda bazická, R – plněná elektr. rutilová P – plněná elektroda – rutilová rychle tuhnoucí struska V – plněná elektroda rutilová nebo bazická/fluoridy W – plněná elektroda bazická/fluoridy – pomalu tuhnoucí Y – plněná elektroda bazická/fluoridy – rychle tuhnoucí Z – plněná elektroda. ostatní typy</p>
<p>6. Tloušťka zkušebního kusu a rozsah platnosti:</p> <p>Pro BW svary: t < 3 t až 2 x t (u 311 = t až 1,5 x t) 3 ≤ t ≤ 12 3 až 2 x t (u 311 = 3 až 1,5 x t) t > 12 ≥ 5</p> <p>Pro FW svary: t < 3 t až 3 t ≥ 3 ≥ 3</p>	<p>7. Průměr zkušebního kusu a rozsah platnosti:</p> <p>D ≤ 25 D až 2 x D D > 25 ≥ 0,5 x D (minimálně však 25 mm) Pro odbočky je D rozměr menšího kusu Zkouška na plechu opravňuje svářeče svařovat i trubky: od D = 500 mm v nucené poloze PF od D = 150 mm v poloze PA (s otáčením)</p>	<p>9. 10. a 11. Zhotovení svaru:</p> <p>ss – svařování z jedné strany bs – oboustranné svařování nb – svařování bez podložky mb – svařování na podložce sl – jednovrstvé svařování ml – vícevrstvé svařování lw – svařování vpřed (jen 311) rw – svařování vzad (jen 311)</p>

<p>8. Polohy svařování dle ISO 6947:</p> <p>ORIENTAČNÍ PŮLKRUH</p> <p>SVISLÉ SVARY SKLONĚNÁ OSA</p> <p>PG J-L045</p> <p>PF H-L045</p> <p>© - orizál st</p>	<p>Rozsah platnosti pro základní materiály:</p> <table border="1"> <tr><td>1.1, 1.2, a 1.4</td><td>1.1, 1.2, 1.4</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11</td></tr> <tr><td>2 a 3</td><td>1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11</td></tr> <tr><td>4, 5, 6 a 7</td><td>1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9.1, 11</td></tr> <tr><td>8</td><td>8, 9.2, 9.3 a 10</td></tr> <tr><td>9.1</td><td>1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1, 11</td></tr> <tr><td>9.2 a 9.3</td><td>1.1, 1.2, 1.4, 9.2, 9.3</td></tr> <tr><td>10</td><td>8, 9.2, 9.3, 10</td></tr> <tr><td>11</td><td>1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 11</td></tr> </table> <p>Rozsah kvalifikace pro přídavné materiály a dle metody:</p> <table border="1"> <tr><td>111</td><td>A,RA,RB,RC,RR,R.....</td><td>A,RA,RB,RC,RR,R</td></tr> <tr><td></td><td>B.....</td><td>B,A,RA,RB,RC,RR,R</td></tr> <tr><td></td><td>C.....</td><td>C</td></tr> <tr><td>131,135</td><td>S.....</td><td>S,M</td></tr> <tr><td>136</td><td>M.....</td><td>S,M</td></tr> <tr><td>136</td><td>B.....</td><td>B,R,P,V,W,Y,Z</td></tr> <tr><td>114,136</td><td>R,P,V,W,Y,Z.....</td><td>R,P,V,W,Y,Z</td></tr> <tr><td>311,141</td><td>S.....</td><td>S,nm</td></tr> </table>	1.1, 1.2, a 1.4	1.1, 1.2, 1.4	1.3	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11	2 a 3	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11	4, 5, 6 a 7	1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9.1, 11	8	8, 9.2, 9.3 a 10	9.1	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1, 11	9.2 a 9.3	1.1, 1.2, 1.4, 9.2, 9.3	10	8, 9.2, 9.3, 10	11	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 11	111	A,RA,RB,RC,RR,R.....	A,RA,RB,RC,RR,R		B.....	B,A,RA,RB,RC,RR,R		C.....	C	131,135	S.....	S,M	136	M.....	S,M	136	B.....	B,R,P,V,W,Y,Z	114,136	R,P,V,W,Y,Z.....	R,P,V,W,Y,Z	311,141	S.....	S,nm
1.1, 1.2, a 1.4	1.1, 1.2, 1.4																																										
1.3	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11																																										
2 a 3	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1 a 11																																										
4, 5, 6 a 7	1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9.1, 11																																										
8	8, 9.2, 9.3 a 10																																										
9.1	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2, 3, 9.1, 11																																										
9.2 a 9.3	1.1, 1.2, 1.4, 9.2, 9.3																																										
10	8, 9.2, 9.3, 10																																										
11	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 11																																										
111	A,RA,RB,RC,RR,R.....	A,RA,RB,RC,RR,R																																									
	B.....	B,A,RA,RB,RC,RR,R																																									
	C.....	C																																									
131,135	S.....	S,M																																									
136	M.....	S,M																																									
136	B.....	B,R,P,V,W,Y,Z																																									
114,136	R,P,V,W,Y,Z.....	R,P,V,W,Y,Z																																									
311,141	S.....	S,nm																																									

4. Skupiny a podskupiny základního materiálu: viz příloha 1

Příloha 7: Způsoby zkoušení

Způsob zkoušení	Tupý svar (na plechu nebo trubce)	Koutový svar a svar odbočky trubky
Vizuální kontrola podle EN 970	závazná	závazná
Zkouška prozářením podle EN 1435	závazná ^{a b d}	nezávazná
Zkouška lámavosti podle EN 910	závazná ^{a b f}	nepoužívá se
Zkouška rozlomením podle EN 1320	závazná ^{a b f}	závazná ^{c e}

^a Musí být provedena zkouška prozářením nebo zkouška rozlomením nebo zkouška lámavosti.

^b Když je provedena zkouška prozářením, potom je závazná doplňková zkouška lámavosti nebo rozlomením pro metody svařování 131, 135, 136 (pouze plněná elektroda s kovovým práškem) a 311 (viz 6.4).

^c Zkouška rozlomením může být nahrazena zkouškou makrostruktury podle EN 1321 nejméně ve dvou místech.

^d Zkouška prozářením může být nahrazena ultrazvukovou zkouškou podle EN 1714 pouze pro tloušťky ≥ 8 mm u feritických ocelí.

^e Zkoušky rozlomením mohou být nahrazeny u trubek zkouškou prozařováním.

^f Pro vnější průměr trubky $D \leq 25$ mm, zkouška lámavosti nebo rozlomením může být nahrazena zkouškou tahem celého zkušebního kusu se zářezy (příklad na obrázku 8).

Příloha 8: Výběr z ČSN EN 25 817 – Směrnice pro určování stupňů jakosti

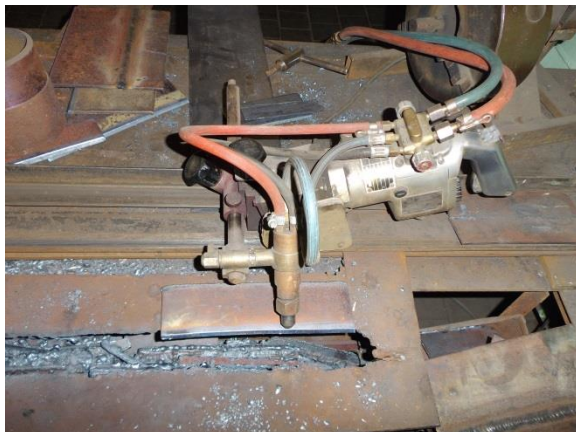
Název vady	Označení vady	Mezní hodnoty vad tupých spojů										Poznámka	Stupeň jakosti	
		b=5	8	10	12	15	20	25						
Převýšení svaru	502	1,8	2,2	2,5	2,8	3,3	4,0	4,8					h ≤ 1 mm + 0,15 b max. 7 mm	C
		t=2	4	6	8	10	12	14						
Hubený svar	511	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5					h ≤ 0,05 t max. 0,5 mm	B
		požadován pozvolný přechod h 0,5 mm												
Zápaly, vruby	501											h ≤ 0,5 mm	B	
Převýšení kořene	504	b = 2	4	5	6							h ≤ 1 mm + 0,6 b max. 4 mm	C	
		2,2	3,4	4	4									
Místa krápníky	5041	náhodné místní krápníky (výstupky) - přípustné											C	
Hubený kořen	515	požadovaný plynulý přechod svaru h 0,5 mm										h ≤ 0,5 mm	B	
		t=2	4	6	8	10	12	14						
Přesazení hran	507	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4					h ≤ 0,1 t max. 3 mm - pladky max. 2 mm - trubky	B
		nepřípustné												
Studené spoje	401	nepřípustné											-	
Neprovařený kořen	402	nepřípustné											-	
Chyby v nespojení	517	nepřípustné											-	

Název vady	Označení vady	Mezní hodnoty vad koutových spojů										Pozníámka	Stupeň jakosti		
		b=4	6	8	10	12	15	20							
Převýšení svaru		1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	3,3	4,0					$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 \text{ max. } 4 \text{ mm}$	C	
		t=4	8	10	12	14	16	18					$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 \text{ a max. } 4 \text{ mm}$		C
		a=2	4	6	8	10	12	14							
		1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,6							
		a+h=3,4	5,8	8,2	10,6	13,0	15,4	17,8							
Zápaly, vruby	5012	požadován povolný přechod h 0,5 mm										$h \leq 0,5 \text{ mm}$	B		
Nerovnoměrnost		a=2	4	6	8	10	12	14					$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 \text{ a}$	B	
		1,8	2,1	2,4	2,7	3,0	3,3	3,7							

Vysvětlivky: a - jmenovitá velikost koutového svaru
 b - šířka převýšených svarů
 h - velikost vad (výška, šířka)
 t - tloušťka stěny trubky nebo plechu

Příloha 9: Fotografie

Fotografie č. 1 – Polohovací autogenní hořák pro přípravu vzorků



Fotografie č. 2 – Zkušební vzorek před rozlomením na lisu



Fotografie č. 3 – Svářečka WTU pro metodu 111

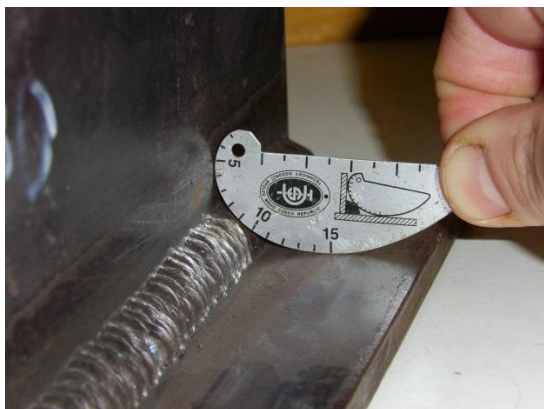


Dálkové ovládání svařovacího proudu.

Fotografie č. 4 – Svářečka pro metodu 135



Fotografie č. 5 – Převýšení koutového svaru, měření měrkou



Fotografie č. 6 – Nerovnoměrnost svaru

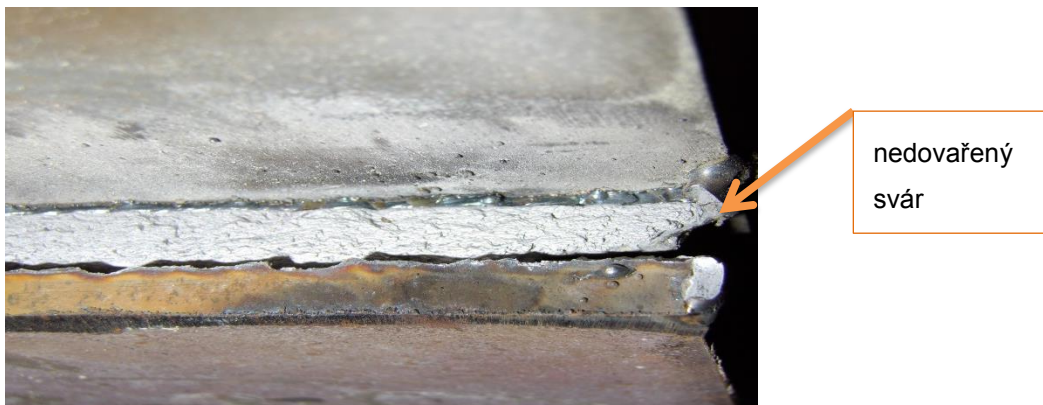


Fotografie č. 7 - Struskový vměstek

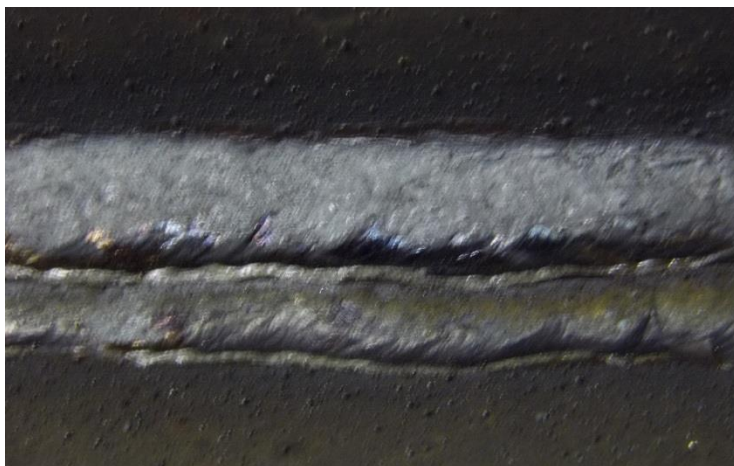


struskový
vměstek

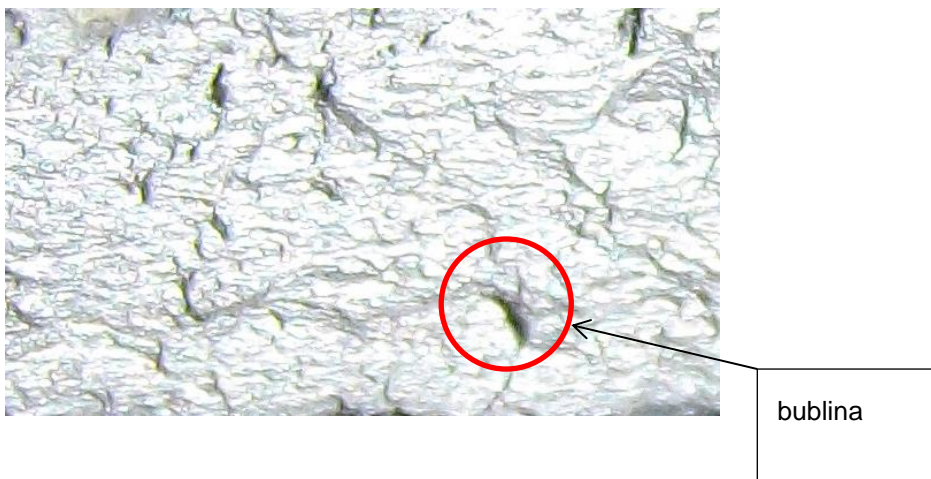
Fotografie č. 8 – Studený spoj



Fotografie č. 9 – Studený spoj (přetečení svarové housenky)



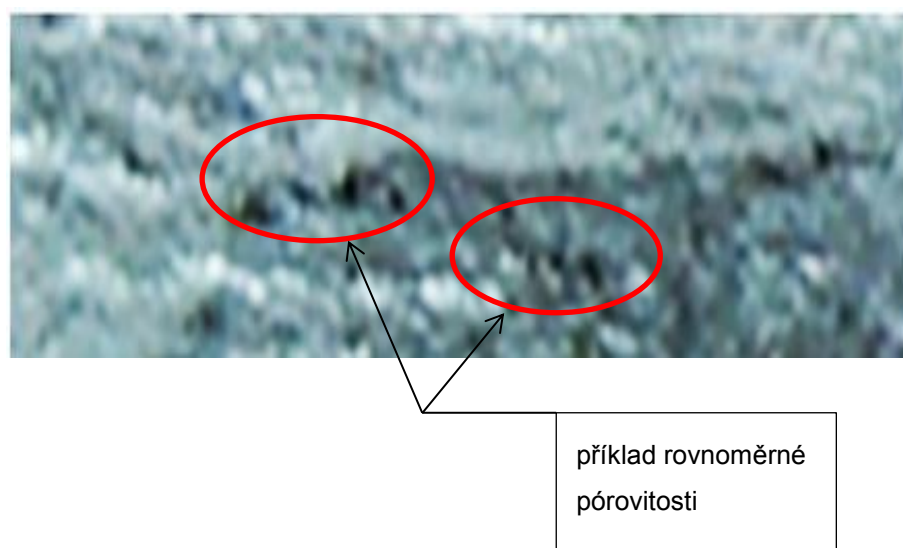
Fotografie č. 10 – Bublina



Fotografie č. 11 – Shluk pórů



Fotografie č. 12 – Rovnoměrná pórovitost



Fotografie č. 13 – Měření převýšení svaru na tupu

