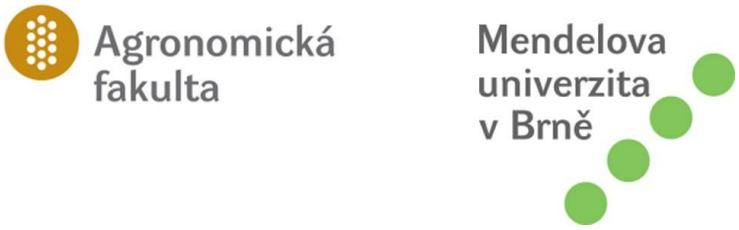
MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Agronomická fakulta

Ústav techniky a automobilové dopravy



Analýza svarových spojů korozivzdorné oceli s běžnou uhlíkovou ocelí

Diplomová práce

Vedoucí práce:
Ing. Jiří Votava, Ph.D.

Vypracoval:
Bc. Tomáš Hartman

Brno 2016

ZADÁNÍ

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci**: Analýza svarových spojů korozivzdorné oceli s běžnou uhlíkovou ocelí** vypracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:……..

……..

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych zde poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jiřímu Votavovi, Ph.D. za pomoc s experimentální částí, odborné konzultace, cenné rady a ochotu během psaní této práce. Rád bych také poděkoval firmě ANTICO za možnost přichystání a svaření vzorků pro experimentální část.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na analýzu svarových spojů běžných uhlíkových ocelí s korozivzdornými, vytvořených běžně dostupnými metodami svařování TIG, WIG, MMA a bodovým svařováním. Jsou zde podrobně popsané svařovací metody využívané v těžkém i lehkém průmyslu. V další části práce je popsána tvorba homogenních svarů na bázi A-F, vhodné metody a problémy při svařovaní těchto svarů. V experimentální části se práce zabývá vytvořením přechodových svarových spojů mezi základními materiály 1.0330 a 1.4301 a porovnáním jejich kvality. Svary jsou podrobovány účinkům solné mlhy, kde je pozorována degradace přechodové oblasti korozí. Následně jsou svary podrobeny metalografickému zkoumání, tahové zkoušce a výsledný svarový kov je analyzován v Schaefflerově diagramu.

Klíčová slova: svařování, homogenní svary na bázi A-F, korozní prostředí, svar

ABSTRACT

Diploma thesis is focused on analysis of welded joints of ordinary carbon steel with corrosion-resistant, made by commercially available methods TIG, WIG, MMA and spot welding. Thesis describes welding methods used in heavy and light industry in detail. Next section describes creation of homogeneous welds based A-F, suitable methods and problems with these welding seams. Experimental part deals with creating a transition weld joints between 1.0330 and 1.4301 materials and comparing of their quality. Welds are subjected to the effects of salt fog and then degradation of the transition zone was observed caused by corrosion. Subsequently, the welds are subjected to metallographic examination, a tensile test, and the resulted weld metal is analyzed in Schaeffler diagram.

Keywords: welding, homogenous welds based on A-F, corrosive environment, weld

OBSAH

1 Úvod 9
2 Cíl práce 10
3 Korozivzdorná ocel a běžná uhlíková ocel 11
3.1 Běžná uhlíková ocel 11
3.2 Korozivzdorná ocel 12
3.3 Druhy korozivzdorných ocelí 13
3.3.1 Austenitická korozivzdorná ocel 13
3.3.2 Feritické korozivzdorné oceli 13
3.3.3 Martenzitické korozivzdorné oceli 14
3.3.4 Austeniticko - feritické (duplexní) korozivzdorné oceli 14
4 Svařování a současné metody svařování 14
4.1 Vznik a tvorba svaru 15
4.1.1 Tepelně ovlivněná oblast (TOO) 16
4.2 Tavné svařování 17
4.2.1 Svařování plamenem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 3 17
4.2.1.1 Zařízení pro svařování plamenem 19
4.2.2 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou ČSN EN ISO 4063 metoda 111 (MMA) 20
4.2.2.1 Elektrody 21
4.2.2.2 Zařízení pro svařování obalenou elektrodou 22
4.2.3 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu označováno dle ČSN EN ISO 4063 metoda 13 23
4.2.3.1 Přenos kovu při svařováni technologií MIG a MAG 24
4.2.3.2 Zařízení pro svařování metodou MIG a MAG 25
4.2.4 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu označována dle ČSN EN ISO 4063 metoda 14 (TIG) 26
4.2.4.1 Svařovací elektrický oblouk metody 14 27
4.2.4.2 Zařízení pro svařování netavící se elektrodou 27
4.2.5 Svařování pod tavidlem ČSN EN ISO 4063 metoda 12 28
4.2.6 Svařování plazmou dle ČSN EN ISO 4063 metoda 15 28

4.2.7 Svařování laserem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 52 29
4.2.8 Svařování elektronové dle ČSN EN ISO 4063 metoda 51 30
4.3 Tlakové svařování 30
4.3.1 Svařování tlakem za studena dle ČSN EN ISO 4063 metoda 48 30
4.3.2 Svařování výbuchem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 441 31
4.3.3 Svařování třením dle ČSN EN ISO 4063 metoda 42 31
4.3.4 Ultrazvukové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 41 32
4.3.5 Odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 2 32
4.3.5.1 Bodové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 21 33
4.3.5.2 Švové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 22 33
4.3.5.3 Výstupkové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 23 33
4.3.5.3 Odtavovací stykové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 24 33
4.3.6 Indukční svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 74 34
4.3.7 Odporové přivařování svorníků dle ČSN EN ISO 4063 metoda 782 34
4.3.8 Difuzní svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 45 34
5 Tvorba přechodových svarů (Heterogenních svarů) 34
5.1 Volba procesu svařování přechodových svarů 35
5.2 Problémy při vytváření přechodových svarů na bázi A - F 35
5.3 Svařování korozivzdorných ocelí s běžnými uhlíkovými oceli 36
6 Experimentální část 37
6.1 Příprava vzorků 37
6.1.1 Základní materiál ČSN 11 321 (1.0330) 38
6.1.2 Materiál ČSN 17 240 (1.4301) 38
6.1.3 Svaření vzorků metodou TIG 39
6.1.4 Svaření vzorku metodou MIG 41
6.1.5 Svaření vzorku obalenou elektrodou metodou MMA 43
6.1.6 Svaření vzorku bodovým odporovým svařováním. 45
6.2 Metalografické hodnocení kvality svaru 46
6.2.1 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou Tig 47
6.2.2 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou Mag 47

6.2.3 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou MMA 48
6.2.4 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou odporového bodového svařování. 49
6.3 Podrobení vzorků účinkům solné mlhy a následné vyhodnocení kvality svaru 50
6.4 Hodnocení kvality svaru po podrobení vzorků účinkům solné mlhy 50
6.4.1 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou TIG 50
6.4.2 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou MIG 51
6.4.3 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou MMA 52
6.4.4 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným odporovým bodovým svařováním 53
6.5 Měření mikrotvrdosti v TOO a tahová zkouška 53
7 Vyhodnocení EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI 54
7.1 TIG 54
7.2 MIG 56
7.3 MMA 56
7.4 Bodové odporové svařování 58
8 Závěr 59
9 Seznam použité literatury 60
10 Seznam obrázků 61
11 Seznam tabulek 63
12 Přílohy 63
12.1 Atest materiálu 11 371 č. 346545 64
12.2 Atest materiálu 17 240 č. 1474372 65
12.3 Atest přídavného materiálu OK 67.60 66

1 ÚVOD

Svařováním můžeme vytvořit nerozebíratelné spojení dvou i více částí. Svařování za pomoci elektrického oblouku bylo zkoušeno nezávisle na sobě v letech 1801-1808 v Anglii a ve Francii. Proces svaření mezi dvěma díly proběhne při dodání určitého množství energie do místa spoje. Svařovat můžeme plamenem, obalenou elektrodou, tavící se či netavící se elektrodou v ochranném plynu, plasmou, třením, laserem nebo výbuchem. Pro různé materiály jsou méně či více vhodné různé metody tavného svařování. Ovšem velmi všestrannou metodou pro většinu materiálů je metoda netavící se elektrody v ochranném plynu. (Balej Z. a kol., 2009)

Nejstarším způsobem tepelného spojení kovového materiálu je pájení, které bylo známo již kolem roku 3000. př. n. l. Svařování v ohni objevili naši předci okolo roku 1000. př. n. l. Další vývoj přišel až v roce 1801, kdy se začalo využívat svařování za pomoci plamene. Svařování za pomoci proudu a elektrody bylo patentováno v roce 1888, v této době se však ještě nepoužívaly obalené elektrody. Obalená elektroda spatřila světlo světa v roce 1908 ve Švédsku, kde ji vynalezl zakladatel firmy Esab. Technologie svařování tavící se elektrodou v inertním plynu pak byla vynalezena až v roce 1940. Další převratnou technologií ve svařování bylo v 60. letech 20. stol využití metody netavící se wolframové elektrody v inertním plynu. V 70. letech 20. stol se začal využívat ke svařování laserový paprsek. Metoda svaření dílů za pomocí tření se objevila v roce 1991. V českých zemích se výrobní technologie svařování elektrickým obloukem uznala až v roce 1927. Během vývoje se metody svařování inovovaly a vynalézaly se další, více či méně využívané v praxi. V dnešní době jsou svařovací stroje i technologie na vysoké úrovní a na nejrůznější svary již není zapotřebí lidské práce, tu přebírají ve velkém roboti. (Kovařík R. a kol., 2000)

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je analyzovat problematiku svařování korozivzdorných ocelí a běžných uhlíkových ocelí za pomoci nejrozšířenějších metod svařování. Diplomová práce je rozdělena do více částí. První část práce je věnována metodám svařování a využití vybraných metod pro svařitelnost různých kovových materiálů. Experimentální část je zaměřena na přípravu vzorků a následné svaření korozivzdorných ocelí s běžnou uhlíkovou ocelí různými metodami. K vyhodnocení nejvhodnější metody je využito metalografických výbrusů svaru, trhací zkoušky a Schaefflerova diagramu. Experimentální část se také zabývá změnou mikrotvrdosti přechodové struktury svaru v tepelně ovlivněné oblasti. Poslední částí práce je vyhodnocení experimentu a doporučení nejvhodnějších metod svařování korozivzdorných ocelí a běžných uhlíkových ocelí.

3 KOROZIVZDORNÁ OCEL A BĚŽNÁ UHLÍKOVÁ OCEL

Svařování je založeno na znalostech vnitřní stavby oceli, o níž pojednává mnoho oborů. Pro svařování jsou nám nejužitečnější znalosti z oblasti metalurgie, nejvíce metalurgie svářečská a nauka o korozi.

3.1 Běžná uhlíková ocel

Mezi běžné uhlíkové oceli řadíme oceli třídy 10,11,12 tzv. nelegované oceli. Oceli nelegované musí obsahovat maximální (%) prvků: 0,9 Mn, 0,5 Si, 0,3 Cr, 0,5 Ni, 0,3 Cu, 0,2 W, 0,2 Co, ostatní, tj. Mo, V, Ti, Al, Nb, Zr a Pb jednotlivě do 0,1.

Tab. 1 ***Třída a charakteristika ocelí (www.ferona.cz)***

Tř. oceli	Charakteristika ocelí
10	Předepsané hodnoty mechanických vlastností, chemické složení není předepsáno.
11	Předepsané hodnoty mechanických vlastností a obsah C, P, S popř. (P+S) i dalších prvků.
12	Předepsaný obsah C, Mn, Si, P popř. (P+S) i dalších prvků.

Svařitelnost uhlíkových ocelí je ovlivněna především složením. Hlavním prvkem ovlivňujícím svařitelnost je obsah uhlíku. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku roste mez pevnosti a tvrdost, ale zvyšuje se při svařování uhlíkových ocelí náchylnost k zakalení svaru a jeho okolí. Zakalení může vést ke zkřehnutí a následnému praskání svaru. Současně se v tepelně ovlivněné oblasti zvyšuje možnost výskytu studených trhlin. Z těchto důvodů je obsah uhlíku ve svařitelných ocelích omezen do množství 0,25 % obsahu. Pokud by docházelo ke vzniku studených trhlin, nebo bychom chtěli svařovat materiál s vyšším obsahem uhlíku, je zapotřebí využít předehřev. U silnějších materiálů, či materiálů s vyšším obsahem uhlíku i dohřev. (Koukal J., Zmydlený T., 2009)

Tab. 2 ***Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku (Koukal J., Zmydlený T., 2009*****)**

Obsah uhlíku [hm. %]	Teplota předehřevu [°C]
0,20 až 0,30	100 až 150
0,30 až 0,45	150 až 275
0,45 až 0,80	275 až 425

Svařitelnost uhlíkových ocelí také mimo uhlíků ovlivňují další legující přísady a nečistoty, tj. např. křemík, mangan, fosfor, síra, dusík, hliník a měď. Přídavné materiály pro svařování uhlíkových ocelí jsou voleny podle požadovaných vlastností výsledného svarového kovu. (Koukal J., Zmydlený T., 2009)

Obr. 1 Běžná uhlíková ocel *(www.zptrade.cz)*

3.2 Korozivzdorná ocel

Korozivzdorná ocel je vysoce legovaná ocel, u které je zvýšena odolnost proti chemické a elektrochemické korozi. Korozivzdorné oceli odolávají solím, parám, plynům, roztokům soli i kyselinám. Základní přísadou korozivzdorné oceli je prvek chróm, v množství nejméně 12 % v závislosti na obsahu uhlíku. Chróm obsažený v oceli alespoň v minimálním množství, vytváří v prostředí obsahujícím kyslík vrstvu kysličníku chrómu. Tato vrstva je spojena s kovovým podkladem a je velmi tenká a neviditelná. Okolní prostředí se tedy dotýká s vrstvou kysličníku chrómu, jenž chrání ocel. Ocel pokrytou kysličníkem chrómu považujeme za pasivní. Pasivním stavem získává ocel vysokou odolnost proti korozi, ale pouze v okysličujícím se prostředí. V prostředí, které nemá okysličující účinek, ochrana klesne nebo zanikne, zejména v prostředí kyseliny dusičné a solné. Přidáním niklu získáme vyšší odolnost proti uvedeným kyselinám. Korozní odolnost můžeme také zlepšit přidáním molybdenu a manganu. (Koukal J. a kol., 2009)

Odolnost slitiny železa s chrómem proti korozi byla ověřena v roce 1821 v lučavce královské. Rozmach ve vývoji korozivzdorných ocelí se naplno rozběhl až v 20. letech 20. století.

3.3 Druhy korozivzdorných ocelí

3.3.1 Austenitická korozivzdorná ocel

Je nazývána podle austenitické struktury. Je to nejrozšířenější korozivzdorná ocel pro svoji vynikající svařitelnost, tvářitelnost a odolnost proti korozi. Obsahuje obvykle méně než 0,10 % uhlíku, 16–22 % chrómu, 8–40 % niklu, 0–5 % molybdenu, dále může obsahovat dusík, titan, niob, měď nebo křemík.

Tab. 3 ***Typy austenitických ocelí (Koukal J. a kol., 2009)***

	Uhlík (%)	Chróm (%)	Nikl (%)	Mangan (%)	Další prvky
Chróm-niklové oceli	**0,01 až 0,15**	**12 až 25**	**8 až 38**		**dusík, molybden, měď a křemík stabilizovaný titanem a niobem**
Chróm-mangan-niklové oceli	**0,02 až 0,05**	**12 až 22**	**3 až 8**	**5 až 12**	
Chróm-manganové oceli	**0,02 až 0,08**	**10 až 18**	**3 až 8**	**14 až 25**	

Nejrozšířenější a nejpoužívanější je chróm-niklová austenitická ocel AISI 304 (1.4301). Hovorově je tato ocel nazývána potravinářská. Má velmi dobrou tažnost za studena, nízký obsah uhlíku zaručuje dobrou svařitelnost.

Kyselinovzdorná chromniklmolybdenová ocel AISI 316L je velmi dobře svařitelná a leštitelná. Má vysokou odolnost proti koncentrovaným kyselinám jak organickým, tak anorganickým.

Žáruvzdorné oceli AISI 309, 309S, 310, 310S jsou nemagnetické, svařitelnost je na dobré úrovni, obrobitelnost je obtížná. Mají dobré vlastnosti pro mechanické zpracování. (Koukal J. a kol., 2009)

3.3.2 Feritické korozivzdorné oceli

Feritické korozivzdorné oceli obsahují 13-30 % chrómu a procento uhlíku je menší než 0,1. Nejsou kalitelné a jejich pevnost je vyšší než u nelegovaných uhlíkatých ocelí. Jsou vždy magnetické. Feritické oceli jsou svařitelné, ale v oblasti svaru materiál křehne. Odolnost proti korozi není na takové úrovní jako u austenitických

korozivzdorných ocelí. Nejpoužívanějšími feritickými ocelemi jsou: AISI 430, AISI 430F, AISI 409, AISI 439. (Koukal J. a kol., 2009)

3.3.3 Martenzitické korozivzdorné oceli

Tyto slitiny je možno tepelně zpracovávat pro zvýšení požadované tvrdosti. Obsah chrómu se pohybuje mezi 12 až 18 %, martenzitická korozivzdorná ocel může obsahovat až 1,5 % uhlíku. Korozní odolnost je nejvyšší u kvalitního leštěného povrchu. (Koukal J. a kol., 2009)

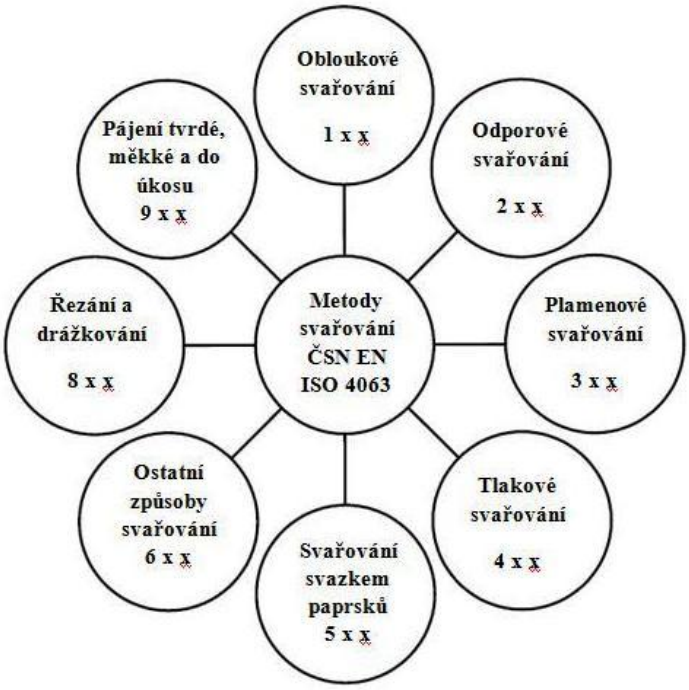
3.3.4 Austeniticko - feritické (duplexní) korozivzdorné oceli

Duplexní korozivzdorné oceli mají lepší korozní vlastnosti a dobrou korozní odolnost než většina feritických a austenitických ocelí. Duplexní oceli mají v sobě jak podíl fáze feritu, tak i austenitu. Dusík je přidáván pro zlepšení mechanických vlastností i pro zlepšení svařitelnosti. Jsou nevytvrditelné tepelným zpracováním a jsou magnetické. (Cunat P., Pont J., 2007)

Obr. 2 Korozivzdorný materiál (*www.elektra.sk*)

4 SVAŘOVÁNÍ A SOUČASNÉ METODY SVAŘOVÁNÍ

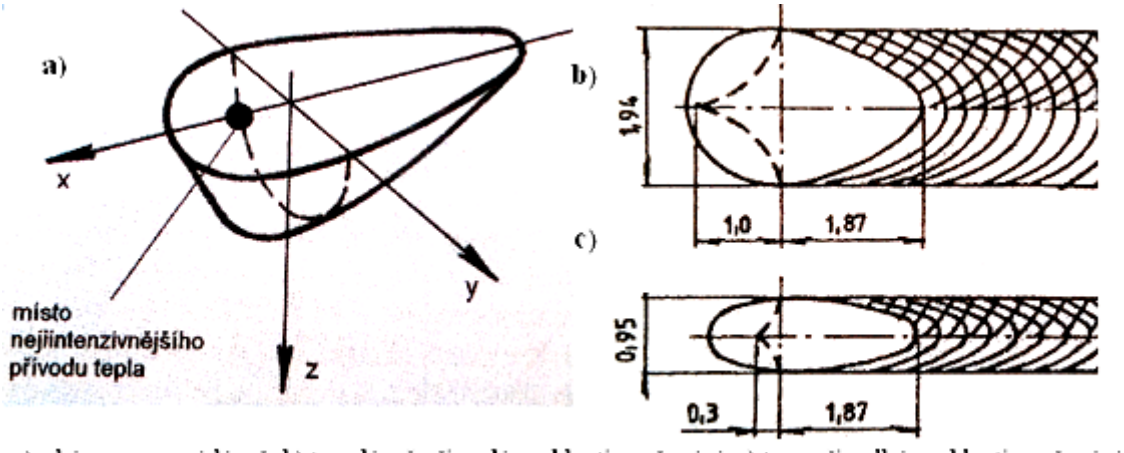
Svařování je jednou z nejstarších technologií využívaných při zpracování kovu. Svařováním uskutečňujeme technologický proces, umožňující spojení kovových i některých nekovových materiálů. Svařením dvou dílů získáme nerozebíratelný spoj, dojde k vytvoření meziatomových vazeb mezi základními materiály. Svar můžeme vytvářet za pomoci tlakového svařování nebo svařování tavného. Při svařování nám v okolí svaru vznikne tepelně ovlivněná oblast, která může mít při použití nevhodné technologie či materiálu nepříznivé vlivy na svarový spoj. (Kovařík R., Černý F., 2000)



Obr. 3 Rozdělení základních metod svařování a jejich označení dle ČSN EN ISO 4063 ***(Koukal J., Zmydlený T., 2009)***

4.1 Vznik a tvorba svaru

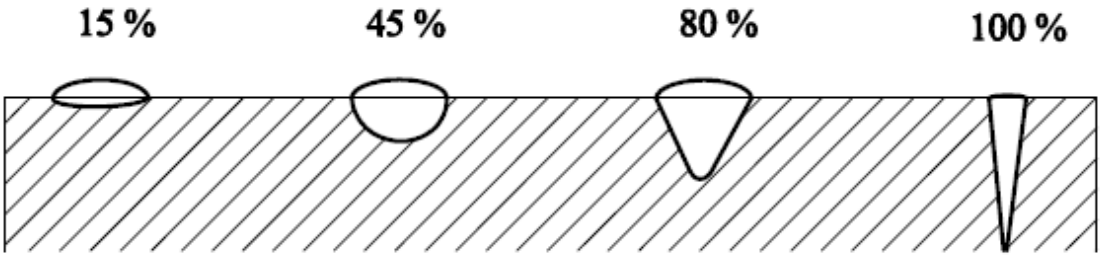
Po přivedení požadovaného množství energie do místa spojení dvou dílů, nám v místě svařování vzniká svarová lázeň a v ní svarový kov. Tvar a velikost svarové lázně jsou ovlivněny parametry svařovacího procesu. Nejvíce ovlivňuje svarovou lázeň tepelný příkon, typ a vlastnosti základního materiálu, rychlost svařování, tepelně fyzikální vlastnosti materiálu a druh ochranné atmosféry. Objem svarové lázně je přímo úměrný příkonu svařovacího zdroje.



a)schéma svarové lázně, b) tvar lázně při malé rychlosti svařování, c) tvar při velké rychlosti svařování

Obr. 4 Tvar svarové lázně ***(Neumann H., 2014, Koukal J., Zmydlený T., 2009)***

Svarový kov vznikne natavením přídavného a základního materiálu. Svarový kov může tvořit i pouze základní materiál, a to zejména u technologií tlakových. U většiny technologií svařování za pomoci tlaku není využíváno přídavných materiálů, naopak u technologií tavných je využíván přídavný materiál téměř vždy. Podíl přídavného materiálu a základního materiálu se může výrazně lišit při svařování kořenové části a části výplňové. Podíl nataveného základního svařovaného materiálu a přídavného materiálu ve svarovém kovu nazýváme promísení. Na promísení má velký vliv zkušenost svářeče, použitá technologie a teplo přivedené do svaru. Při obloukovém svařování může být stupeň promísení od 10 do 40 %. Podíl základního a přídavného materiálu je důležitý, pokud se liší chemické složení svařovaných materiálů. (Koukal J., Zmydlený T., 2009)



a) plazmové navařování
b) ruční svařování el. obloukem (bazická elektroda)
c) ruční svařování el. obloukem (hlubokozávarová elektroda)
d) elektronové svařování

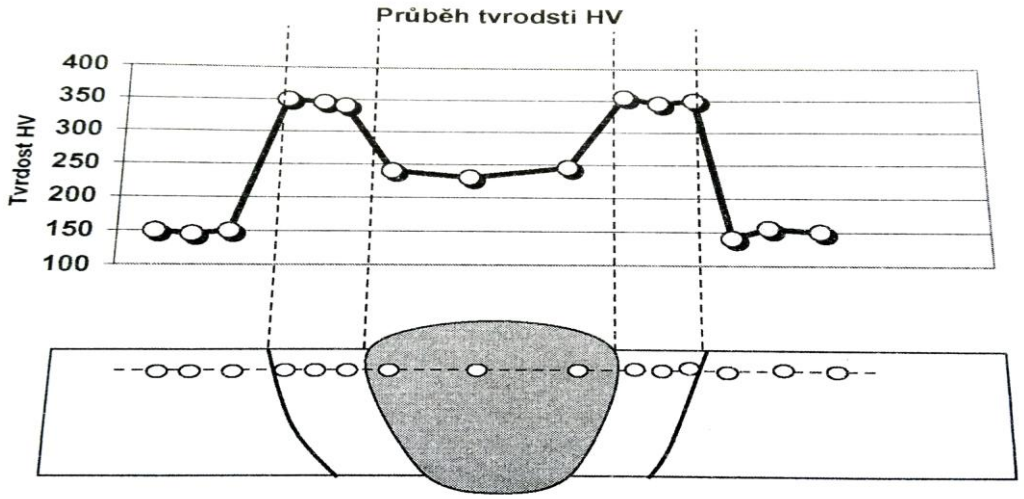
Obr. 5 Obvyklý podíl základního materiálu ve svarovém kovu (*Koukal J., Zmydlený T., 2009*)

4.1.1 Tepelně ovlivněná oblast (TOO)

Tepelně ovlivněná oblast je oblast svarového spoje, ve které dochází ke změnám mikrostruktury v důsledku působení tepla při svařování. Při svařování kovů a slitin bez prvků (Cu, Ni, Al) ke změnám v mikrostruktuře nedochází. Při svařování kovů a slitin s polymorfními prvky dochází v tepelně ovlivněné oblasti k výrazným změnám struktury. Šířka tepelně ovlivněné oblasti je závislá na použité technologii a intenzitě tepla přivedeného do svaru. U metody svařování obalenou elektrodou může dosahovat pásmo TOO až 9 mm od kořene svaru, u metody svařování plazmou pouze 2 mm. Tepelně ovlivněná oblast se skládá z pěti částí:

- **Pásmo částečného natavení** tvoří přechod z TOO do svarového kovu, tato oblast je minimální, stejně jako rozdíl teplot svarového kovu a pevné části.
- **Pásmo přehřátí** je oblast šířící se s klesající teplotou od svarového kovu, až na teplotu základního materiálu cca 1050 °C.
- **Pásmo normalizace** je definováno teplotami v rozpětí 850-1050 °C.
- **Pásmo částečné rekrystalizace** je definováno teplotami v rozpětí 700-850 °C.
- **Vyžíhaná oblast** je definována teplotami v rozpětí 450-700 °C.

Ve všech těchto pásmech dochází ke změnám základního materiálu, který mění především svoji tvrdost a křehkost. Svařováním mohou být ovlivněny i další vlastnosti svařovaného materiálu v oblasti svaru, a to především odolnost proti korozi nebo žárupevné vlastnosti. (Koukal J., Zmydlený T., 2009)



Obr. 6 Průběh tvrdosti v TOO svarového spoje dle HV 10 (*Koukal J., Zmydlený T., 2009*)

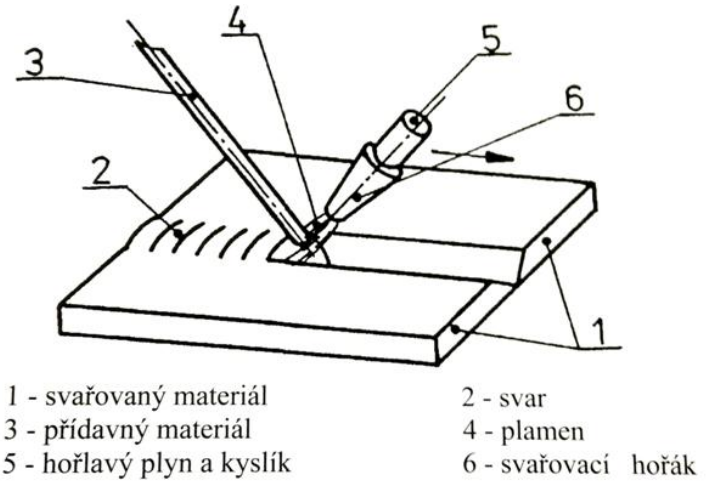
4.2 Tavné svařování

Tavné svařování je metoda, která nepoužívá ke spojení vnější síly. Spojované plochy musí být nataveny a je možno ke spojení použít i přídavného materiálu. Mezi hlavní představitele tavného svařování patří plamenové svařování, obloukové svařování, svařování pod tavidlem, plazmové svařování, laserové svařování a jiné. (Neumann H., 2014)

4.2.1 Svařování plamenem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 3

Tato metoda tavného svařování využívá hoření směsi hořlavého plynu a kyslíku ve zvláštním hořáku. Jako hořlavý plyn se nejčastěji využívá acetylen, zřídka

se využívá zemní plyn, vodík, propan nebo propan-butan. Pro svařování oceli se využívá směs acetylenu a kyslíku, tento plamen může dosáhnout teploty až 3200 °C. Směs ostatních plynů s kyslíkem se využívá pro svařování materiálů s nižší teplotou tavení. Svařování za pomoci plamene se dnes využívá do tloušťek 4 až 5 mm. Větší tloušťky jsou touto metodou svařovány ojediněle. Tato metoda je stále velmi hojně využívána při instalatérských pracích. (Minařík V., 2007)

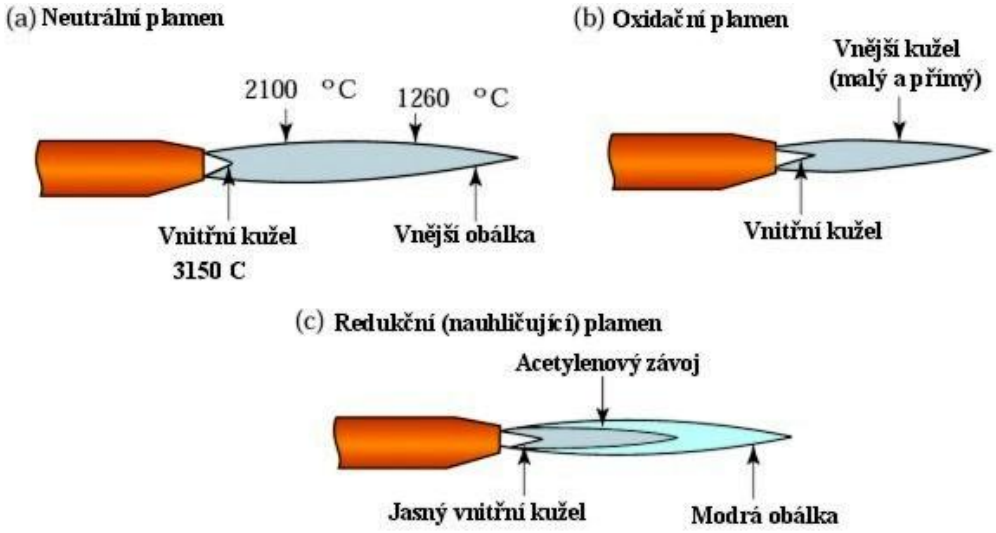


Obr. 7 Svařování plamenem *(Minařík V., 2012)*

Hoření kyslíku s acetylénem má obvykle dvě fáze. V první fázi spalování dochází k nedokonalému spalování na povrchu vnitřního plamene svařovacího kužele. Teplota v této fázi dosahuje asi 3150 °C. Dochází zde k rozkladu acetylenu na vodík a uhlík, jenž se spaluje jako oxid uhelnatý. Tento vnitřní plamen sahá cca 10 mm od hořáku a má redukční účinky. Druhá fáze hoření představuje spalování vzniklých složek ve vnějším kuželu. Zde si plamen přibírá potřebný kyslík k hoření z atmosféry ve značném přebytku. Vnější plamen má oxidační účinky, jeho barva může být nažloutlá až namodralá. Dle poměru kyslíku a acetylenu ve směsi rozlišujeme tři základní druhy plamene:

- **Neutrální plamen** se využívá pro běžné svařování, protože jeho hoření téměř neovlivňuje svarovou lázeň. Směs kyslíku s acetylenem je v poměru 1:2 až 1:1.
- **Redukční plamen** je plamen, který má nauhličující účinky. Pro svařování se používá jen výjimečně. Díky nauhličení svar křehne, dochází zde v něm k pórovitosti a práskání. Mírně redukční plamen se využívá ke svařování hliníku a jeho slitin, kde nauhličující účinek nemá vliv na kvalitu svaru. Redukčního plamene je možno využít k cementování.

- Při použití **oxidačního plamene** dochází k vypalování některých legur. Tento plamen se využívá ke svařování mosazí a některých bronzů.



Obr. 8 Druhy kyslíko-acetylenového plamene (*www.svarbazar.cz*)

Mimo správného nastavení směsi plynů je také důležitá intenzita plamene. Tedy výstupní rychlost plamene z hořáku. Rozlišujeme tři základní intenzity plamene:

- Měkký plamen: Výstupní rychlost tohoto plamene je 70 až 100 m/s. Je nestabilní a velmi náchylný ke zpětnému šlehnutí. Využívá se především pro pájení.
- Střední plamen: Výstupní rychlost středního plamene se pohybuje od 100 do 120 m/s. Hoření je stabilní, nedochází ke zpětnému šlehnutí, projev je dynamický. Střední plamen je nejvíce využíván ke svařování.
- Ostrý plamen: Výstupní rychlost u ostrého plamene je vyšší jak 120 m/s. Pro svůj velmi vysoký dynamický účinek je využíván k nahřívání a rovnání dílů. Má velké tepelné ovlivnění základních materiálů a nepřípustné rozhánění svarové lázně do stran.

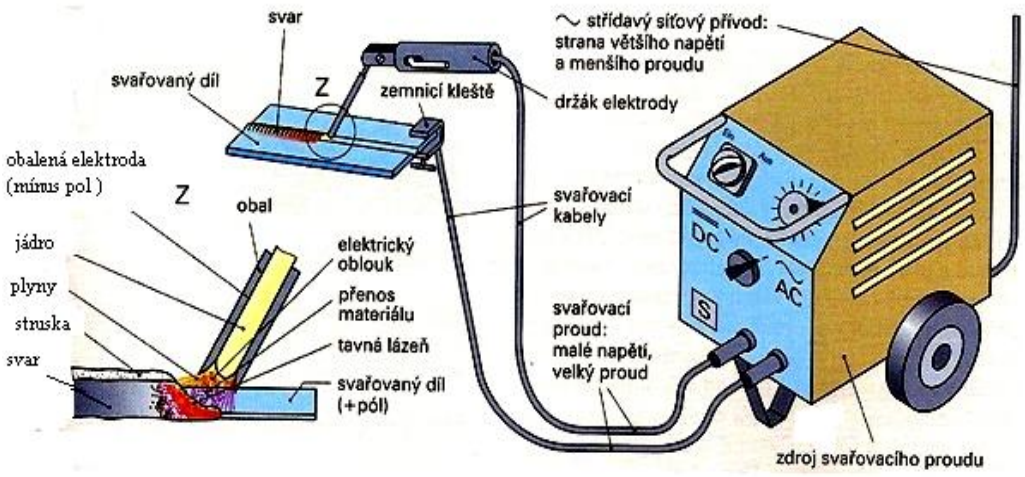
4.2.1.1 Zařízení pro svařování plamenem

Pro svařování plamenem využíváme potřebných plynů uložených především v tlakových lahvích. Další důležitou součástí jsou redukční ventily, které jsou umístěny na tlakových lahvích a regulují nám tlak plynu na pracovní tlak. Z redukčního ventilu odvádíme plyny vysokotlakými hadicemi do hořáku, kde se směsují dle potřebného množství. Hadice jsou barevně rozlišeny. V modré je přiváděn kyslík a v červené je přiváděn hořlavý plyn. Svařovacích hořáků je několik druhů. Jejich velikost se odvíjí od velikosti svaru, svařovaného

materiálu, polohy svaru a druhu plamene. Velmi důležitou částí při svařování plamene je pojistka proti zpětnému šlehnutí plamene z hořáku do tlakové lahve. Tato pojistka se umísťuje mezi hořák a redukční ventil. Nezbytně nutnou součástí jsou pak pomůcky pro dodržování bezpečnosti práce a přídavný materiál. (Minařík V., 2012)

4.2.2 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou ČSN EN ISO 4063 metoda 111 (MMA)

Je to metoda dnes velice využívaná hlavně díky její mobilitě, jednoduchosti, nízkým pořizovacím nákladům a možnosti svařování ve všech polohách. Je charakteristická hořením elektrického oblouku a odtavováním kovové elektrody, která má na povrchu nalisovaný obal. Pro svařování lze využívat jak stejnosměrného, tak střídavého elektrického proudu. Rozsah svařovacího proudu je od 10 do 2000 A. U této metody je nositelem elektrického oblouku elektroda. Ta zároveň plní funkci odtavujícího se přídavného materiálu. Teplo oblouku při hoření taví jak základní materiál, tak jádro elektrody. Obal elektrody vytváří při hoření obal plynů a strusku chránící svarovou lázeň před chemickými reakcemi okolí. Relativně pomalá rychlost svařování a absence mechanizace řadí tuto metodu v dnešním vysoce produktivním průmyslu mezi méně používané. Pro malé série nebo výroby s malým množstvím svařování jsou ale finančně dostupné a všestranné. Velkou výhodou je její mobilita a možnost využití na montážích. (Minařík V., 2007)



Obr. 9 Schéma svařování ručního obloukového svařování obalenou elektrodou (*www.uvp3d.cz*)

4.2.2.1 Elektrody

Elektrody jsou využívaný jako přídavný materiál při svařování. Jsou vyráběny od průměru 1,6 až do 8 mm, v délkách od 200 do 450 mm. Dříve bylo využíváno elektrod bez obalu, v dnešní době jsou elektrody využívané výhradně s obalem. Obal je nalisován na elektrodu při její výrobě. Má za funkci usnadňovat hoření a má vliv na metalurgické procesy při svařování. Hlavními funkcemi obalu jsou:

- **Ochrana svarového kovu před účinky atmosféry:** V obalu jsou plynotvorné látky, které při hoření vytváří ochranou atmosféru a zamezují přístupu kyslíku a dusíku ke svarové lázni.
- **Stabilita oblouku:** Obal obsahuje soli alkalických kovů, vápníku, draslíku a titanu, které zlepšují zapalování oblouku a stabilizují hoření.
- **Ovlivnění metalurgických pochodů:** V obalu jsou přísady živce, magnezitu, dolomitu a další, jenž jsou přidávány jako struskotvorné přísady. Tyto přísady při rozpuštění během hoření oblouku zpomalují chladnutí svarové lázně a vhodně chemicky reagují se svarovým kovem, což má příznivý vliv na kvalitu svaru.

Elektrody a jejich obal musí co nejlépe vyhovovat základnímu materiálu a použitému svařovacímu proudu. Obal elektrod je vyráběn v několika provedeních pro různé spoje a materiály.

Rozlišujeme obaly elektrod:

- **Stabilizační obal:** Tento obal dobře stabilizuje oblouk. Elektrody s tímto obalem odtavují větší kapky a je možno svařovat ve všech polohách s užitím střídavého i stejnosměrného proudu. Využívá se pro málo namáhané svary.
- **Rutilový obal:** Základem složení obalu je rutil. Struska má příznivé redukční a fyzikální vlastnosti. Je křehká a snadno odstranitelná. Svařovat je možno ve svislých polohách, naopak není doporučeno svařovat shora dolů. Je možno svařovat díly s většími mezerami. Elektrody s tímto obalem nemají silný závar, proto je není vhodné používat pro svařování tlakových nádob a silných plechů. Rutilové elektrody připojujeme zejména na mínus pól střídavého i stejnosměrného napětí, ale existují i výjimky pro připojení na plus pól.
- **Rutil-organický obal:** Základ tvoří rutilový obal s organickými přísadami. Příměs organické hmoty má význam ve zvýšení obsahu ochranného plynu.

To přináší zvýšení závaru a možnosti svařování koutových svarů a svařování shora dolů. Nehodí se pro svařování tlakových nádob a je možné používat střídavý proud.

- **Rutil-kyselý obal:** Chování těchto elektrod je srovnatelné s chováním elektrod s kyselým obalem. Možnost použití je ve všech polohách mimo polohy shora dolů.
- **Rutil-bazický obal:** Elektrody s tímto obalem disponují dobrými mechanickými vlastnostmi svarového kovu. Oblast použití je ve svařování ve všech polohách mimo polohy shora dolů.
- **Kyselý obal:** Je složen z několika prvků, z nichž největší podíl má feromangan, který je přidáván jako detoxikační přísada. Přechod do lázně probíhá v jemných kapkách. Elektrodu připojujeme na mínus pól při využití střídavého i stejnosměrného proudu. Svařování v polohách je obtížné z důvodu vysoké tekutosti. V dnešní době je tato elektroda na ústupu.
- **Bazický obal:** Obal je tvořen vápencem, mramorem a železným práškem. Struska je poněkud složitěji odstranitelná oproti výše uvedeným elektrodám. Elektrody s bazickým obalem jsou v současné době nejvyužívanější pro svařování tlakových nádob, namáhaných svarů a svarů bez požadavků na vysokou pevnost. Zpravidla připojujeme elektrodu na plus pól stejnosměrného proudu. (Bartoš J., 2012)

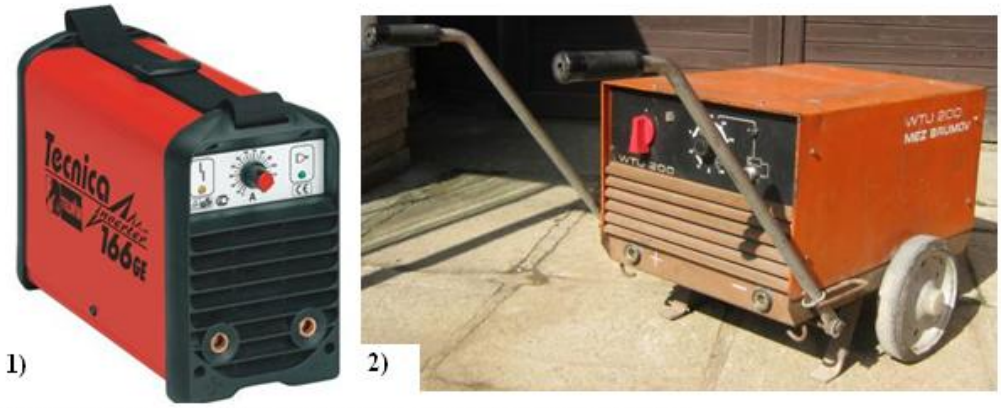
Tab. 4 Značení obalů elektrod (Bartoš J., 2012)

DRUHY OBALU	OZNAČENÍ
bazický	B
rutilový	R
kyselý	A
celulosový	C
rutil-kyselý	RA
rutil-bazický	RB
tlustostěnný rutilový	RR

4.2.2.2 Zařízení pro svařování obalenou elektrodou

Pro svařování obalenou elektrodou je zapotřebí vhodný zdroj el. energie, který dodá potřebný proud do místa svaru. Hlavním cílem svařovacího zdroje je dodání konstantního elektrického proudu a to buď stejnosměrného, nebo střídavého.

Nejjednoduššími svařovacími zdroji jsou transformátory bez usměrňovače el. proudu. Svařovací trafa jsou rozměrově a váhově dosti velká, ale cenově dostupná. Zdroje s usměrňovačem jsou převážně tyristorové, které usměrňují střídavý proud na stejnosměrný. Moderní svařovací zdroje jsou invertorové zdroje. Invertor vytváří vysoké pulzní napětí, které je přiváděno na svařovací transformátor. Svařovací transformátor díky vysoké frekvenci může být mnohem menší než u běžných transformátorových zdrojů. Moderní invertory jsou vybaveny usměrňovací diodou pro možnost usměrnění střídavého proudu. Pro svařování obalenou elektrodou mimo zdroj potřebujeme ještě svařovací kabely, zemnící kleště a kleště pro uchycení elektrody. Nezbytnou součástí jsou ochranné pomůcky. (Minařík V., 2011)



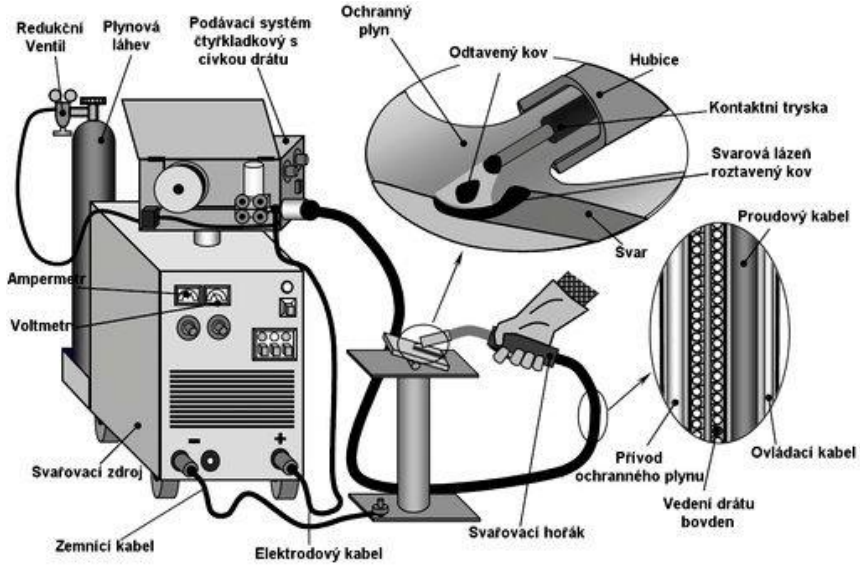
1) Moderní svařovací invertor, 2) Tyristorový svařovací zdroj

Obr. 10 Svařovací zdroje (*www.safework.cz*)

4.2.3 Obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu označováno dle ČSN EN ISO 4063 metoda 13

Ke svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu můžeme využít inertní plyn nebo aktivní plyn. Jako inertního plynu je využíváno argonu, helia nebo směsi těchto plynů. Pro svařování v aktivním plynu je použit v ochranné atmosféře oxid uhličitý nebo jeho směs s jiným plynem. Metoda svařování netavící se elektrodou v inertním plynu je označována jako 131 (MIG), využívá se pro svařování nerezu, hliníku a jeho slitin a neželezných slitin. Metoda svařování netavící se elektrodou v aktivním plynu je označována 135 (MAG). Je vhodná pro svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysoce legovaných ocelí. Při užití plněného drátu a aktivního plynu je metoda označována 136, při použití plněného drátu s inertním plynem je její označení 137. Při svařování je nositelem energie odtavující se elektroda, která

zároveň plní funkci přídavného materiálu. K přenosu proudu ze zdroje na přídavný materiál dochází v kontaktní trubici. Ochranný plyn je přiváděn do svařovacího hořáku a v hubici je přiváděn ke svaru. Tato metoda je vhodná pro většinu materiálů. Přídavný materiál je vyráběn pro velkou škálu kovů, je vždy odvíjen z cívek, na kterých je navinut v množství 5 nebo 15 kg. Přídavný materiál je v podobě drátu nebo dutého drátu s náplní tzv. trubičkového drátu. Trubičkové dráty jsou plněny struskou nebo práškovým kovem. Přednostmi trubičkového drátu jsou vyšší závar, vyšší výkon odtavení a malý rozstřik. (Dolejský T., 2013)



Obr. 11 Schéma svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu (*www.automig.cz*)

Svařovací proud může být od 20 do 800 A. Velkou výhodou této metody je poloautomatický režim podávání přídavného materiálu. Díky tomuto mechanismu se omezují technologické přestávky, které u technologie svařování obalenou elektrodou byly velmi časté. Dlouhé svary jsou tedy vařeny najednou a nedochází k procesu chladnutí a opětovnému zahřátí, jako tomu bylo u metody 111. Tuto metodu je možné využít ke svařování ve všech polohách, ve strojírenské praxi je metoda velmi využívaná a vytlačuje metodu 111. Robotizace a mechanizace je u této metody v dnešní době velmi aplikována.

4.2.3.1 Přenos kovu při svařováni technologií MIG a MAG

Přenos kovu je charakterizován odtavením přídavného materiálu při hoření el. oblouku do svarové lázně. Charakter přenosu ovlivňuje svařovací proud, přídavný materiál, proudová hustota, ochranný plyn a povrchové síly.

Druhy přenosu kovu:

- **Zkratový přenos (D):** Při zkratovém přenosu je odtavena velká kapka kovu, často větší než průměr přídavného materiálu. Tato kapka vyplní mezeru mezi elektrodou a svarovým kovem. Vyplnění mezery zapříčiní tvorbu zkratu. Při zkratu se zvýší teplota, kapka se odtaví a obnoví se opět elektrický oblouk. Tohoto přenosu může být využito v libovolném ochranném plynu při napětí od 30 do 180 A. Zkratová frekvence se pohybuje od 20 do 150 Hz. Pro frekvenci nad 150 Hz je zapotřebí využít výrazně vyššího proudu, průtoku plynu a rychlejšího podávání drátu.
- **Kapkový přenos (G):** Opět nastane odtavení velké kapky. K odtrhu dochází při nahromadění dostatečně velkého množství pro překonání povrchového napětí. Tohoto přenosu se využívá v aktivních plynech v rozmezí proudu od 150 do 300 A. Velké odtavení má za následek vysoký rozstřik přídavného materiálu v okolí svaru.
- **Sprchový přenos (S):** Sprchový přenos nastává při použití svařovacího proudu nad 200 A. Dlouhé vysunutí elektrody znemožní tvoření velkých kapek. Díky působení vysokého proudu se tvoří malé kapky a za působení elektromagnetických sil vznikají malé kapičky. Výhodou je malý rozstřik. Tohoto přenosu se využívá více v inertním plynu.
- **Impulzní přenos (I):** Průběh svařovacího napětí a proudu je řízen mikroprocesorem. Mikroprocesor zvyšuje a snižuje v intervalech svařovací proud a napětí a tvoří tzv. pulsy. Pulsy se roznášejí kapky řízeně do svarového kovu. Tento princip je velmi přínosný z důvodu omezení TOO a rovnoměrného dávkování přídavného materiálu.

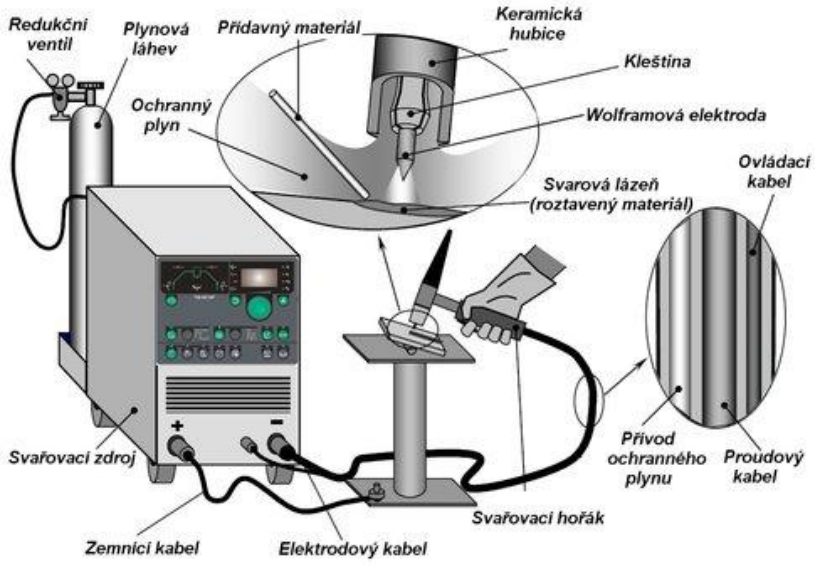
  (Sejč P., 2006)

4.2.3.2 Zařízení pro svařování metodou MIG a MAG

Pro svařování metodou 13 potřebujeme svařovací zdroj, svařovací hořák, tlakovou láhev s ochranným plynem vybavenou redukčním ventilem a přídavný materiál. Moderní svařovací zdroje v sobě již mají zabudovaný kladkový podavač přídavného materiálu a umožňují plynulou regulaci všech potřebných hodnot pro svařování touto metodou. Svařovací hořák je zpravidla zapojován na nepřímou polaritu tzn. připojení hořáku na plus pól a zemnícího kabelu na mínus pól. Jako svařovací proud je používán proud stejnosměrný. V neposlední řadě nesmíme zapomenout na používání ochranných pomůcek.

4.2.4 Obloukové svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu označována dle ČSN EN ISO 4063 metoda 14 (TIG)

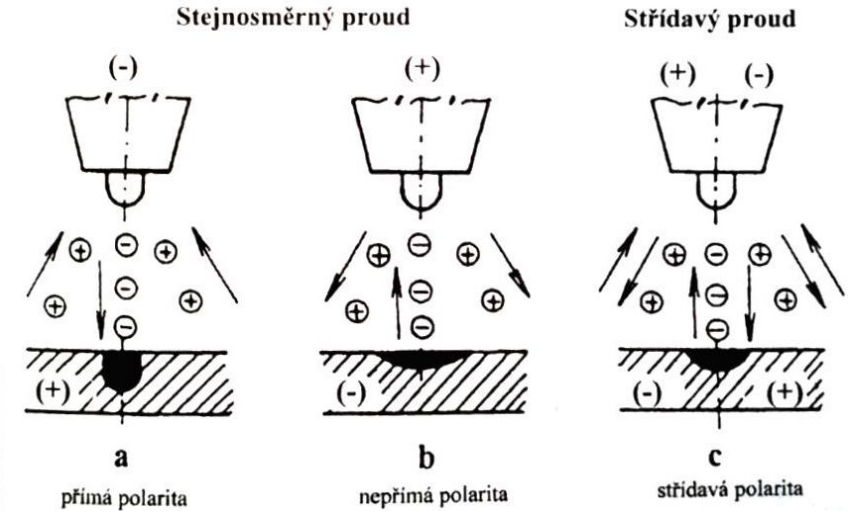
Princip metody svařování netavící se elektrodou spočívá v hoření el. oblouku mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Hoření probíhá v ochranné atmosféře inertního plynu, který chrání svarovou lázeň a elektrodu před nepříznivými účinky okolní atmosféry. Možnost automatizace, robotizace a svařování ve všech polohách zapříčinily značný rozvoj této technologie ve výrobních procesech. Svařovat touto metodu je možno neželezné kovy, korozivzdorné oceli a jiné vysoce či nízce legované oceli. Díky jejím vynikajícím svařovacím vlastnostem je využívána pro nejnáročnější svary v jaderné energetice, kosmonautice a letectví. Technologie netavící se elektrody využívá zdroje střídavého i stejnosměrný proudu. Použití stejnosměrného nebo střídavého proudu závisí na svařovaném materiálu. Střídavý proud je využíván u svařování hliníku a jeho slitin, stejnosměrný pro ostatní materiály. Díky všestrannosti metody je možné si vybrat, jaký typ polarity využijeme ke svařování. Předností metody je oproti jiným metodám, využívajícím hoření elektrického oblouku, roztavení základního materiálu a následné přidání přídavného materiálu. To způsobuje větší prohřátí materiálu a tím i vyšší provařenost. Jako ochranný plyn lze použít inertní nebo aktivní plyn. Nejčastěji metoda využívá inertní plyn argon, helium nebo jejich směs a je označována jako metoda 141, tedy metoda svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu (TIG). (Malina Z., Néma M., 2004)



Obr. 12 Schéma svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu (*www.automig.cz*)

4.2.4.1 Svařovací elektrický oblouk metody 14

Typickým znakem je hoření oblouku při teplotě 6-10 tisíc °C a intenzivní tepelné a světelné záření. El. oblouk můžeme zapalovat dotykově nebo bezdotykově. Pro bezdotykové zapalování je zapotřebí, aby svařovací zařízení mělo vysokofrekvenční zapalování. Hoření oblouku probíhá mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Elektroda je vyrobena z čistého wolframu nebo slitin wolframu a dalších prvků. Elektroda je umístěna v hořáku, který předává proud do elektrody přes měděnou kleštinu. Při využití stejnosměrného proudu a připojení hořáku s elektrodou na mínus pól, hovoříme o polaritě přímé. Pokud zapojíme hořák na mínus pól, hovoříme o polaritě nepřímé. Při použití střídavého proudu vznikne polarita střídavá. Tzv. polarita u metody netavící se elektrody ovlivňuje hloubku, průvar a šířku svaru. (Balej Z., a kol., 2009)



Obr. 13 Vliv přímé a nepřímé polarity u metody 14 (Balej Z., a kol., 2009)

4.2.4.2 Zařízení pro svařování netavící se elektrodou

Pro svařování je zapotřebí kvalitní svařovací zdroj. Dnešní invertorové zdroje s možností měnit použití stejnosměrného a střídavého proudu jsou na špičkové úrovni a dovolují svařovat s el. proudem až 300 A. Svařovací proud a plyn je přiváděn do svaru hadicí a svařovacím hořákem, který bývá zpravidla chlazen vodou. Hořák může být chlazen i prouděním ochranného plynu, ale tato možnost není moc využívána v provozech, z důvodu malé účinnosti a vyšší spotřeby plynu. Oproti tomu v mobilních zařízeních se používá téměř výhradně. Jako inertního plynu je využíváno argonu. Přídavný materiál je dodáván ve formě svařovacího

drátu různého složení a průměrů. Při svařování je nutné využívat ochranné pomůcky. (Balej Z., a kol., 2009)

4.2.5 Svařování pod tavidlem ČSN EN ISO 4063 metoda 12

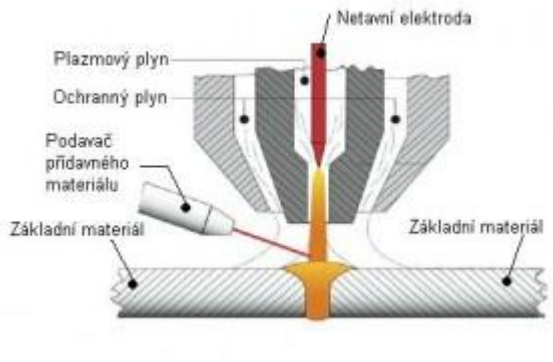
Při svařování pod tavidlem je teplo tvořeno průchodem silného elektrického proudu mezi drátem, jenž je používán jako přídavný materiál a svarkem. Celý tento proces probíhá pod tavidlem, které se přetváří rozpékáním sypkého tavidla na strusku. Metoda může být poloautomatická, ale nejčastěji je plně automatická. Svařovat pod tavidlem jde pouze metodou shora a to svary tupé a koutové. Technologie může pro svařování využívat napětí proudu až 2500 A a rychlosti posuvu až 120 m/h. Nevýhodou této technologie je absence okamžité vizuální kontroly svaru z důvodu překrytí svaru tavidlem. Přídavný materiál je dodáván ve formě drátu různého složení o průměru od 2 do 10 mm. Tavidla použitá při svařování jsou podobná ochranným obalům elektrod. Vyrábějí se buď tavením v pecích, nebo za pomoci práškové metalurgie. Této metody se využívá k navařování nebo svařování silných součástí od 10 do 80 mm. (Cunat P., Pont J., 2007)

Obr. 14 Svařování pod tavidlem (*www.konstrukce.cz*)

4.2.6 Svařování plazmou dle ČSN EN ISO 4063 metoda 15

Metoda svařování plazmou je velmi podobná metodě 14, ze které jejím vývojem vznikla. Hlavním rozdílem oproti svařování netavící se elektrody v ochranném plynu je usměrnění plazmového oblouku v trysce. Tento princip umožňuje vznik vysoce silného proudu plazmy dosahující teploty až 20 000 °C. Plazmový paprsek je velmi tenký, a proto je důležité ochránit svarovou lázeň ochranným plynem. Plazma vzniká zúžením hoření elektrického oblouku, který hoří mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem. Tento oblouk nazýváme přenesený. Pokud probíhá hoření mezi elektrodou a tryskou, nazýváme

toto hoření jako nepřenesený oblouk. Svařovat plazmou můžeme v rozmezí proudu 0,1 až 15 A, toto svařování nazýváme mikroplazmové, nebo v rozmezí 15 až 100 A jako středněplazmové. Pro svařování na vozíku poloautomatem či automatem je vhodné svařovat technikou klíčové dírky. Prouděním plazmového paprsku a použitím vysokého svařovacího proudu nad 100 A se vytváří velmi výkonný plasmový paprsek, který vytváří dostatečný průvar pro pevné spojení. Princip svařování spočívá v postupném pronikání plazmového paprsku stěnou kovu. Za pomoci působení povrchového napětí dochází ke slévání kovu a vzniká svar. Velkou výhodou této metody je malá tepelně ovlivněná oblast, stabilní hoření oblouku a možnost svařování velmi tenkých materiálů. Plazmou můžeme svařovat materiály od 0,1mm až po 20 mm. (Minařík V., 2011)



Obr. 15 Svařování plazmou (*www.schinkmann.cz*)

4.2.7 Svařování laserem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 52

Laserové svařování využívá ke spojování materiálu světelného záření. Potřebné teplo vzniká dopadem koherentního svazku monochromatického záření. Toto záření je vytvářeno laserem. Svařování laserem je obvykle bez přídavného materiálu a rozměr TOO je zpravidla velmi malý. Díky vysoké koncentraci energie je možno svařovat s vyšší rychlostí a malým natavením základního materiálu. Tato technologie umožňuje typy svaru, které jinými technologiemi nebylo možno vytvořit. Svařování probíhá mechanizovaně nebo automatizovaně. Pro svařování se využívá metody svařování průchozím paprskem. Tato metoda je totožná s metodou klíčové dírky využívané u plazmového svařování a je nejčastěji využívána v automobilním průmyslu a v ocelářském průmyslu pro výrobu bezešvých trubek. (Minařík V., 2011)

4.2.8 Svařování elektronové dle ČSN EN ISO 4063 metoda 51

Svar při použití elektronového svařování vznikne z koncentrovaného zaostřeného elektronového svazku, který dopadá za vysoké rychlosti na základní materiál. Pro vznik tepla se využívá kinetická energie elektronů vygenerovaných v elektronovém děle. Elektrony se při dopadu na svařovaný materiál mění na energii tepelnou. Vysokou energií se taví tenká spára, následný svar vznikne metalurgickým spojením základních materiálu bez použití přídavného materiálu. Celý proces svařování probíhá ve vakuu, které zabrání účinku okolní atmosféry. Použití vakua umožňuje svařovat vysoce reaktivní materiály reagující s atmosférou. Regulace zdroje je velmi dobrá, což umožňuje svařování materiálu od 0,5 do 40 mm. Rychlost svařování může dosahovat až 20 m/minutu. Tato metoda je využívána v mechanizovaném a automatizovaném provozu. (Cunat P., Pont J., 2007)

4.3 Tlakové svařování

Tlakové svařování využívá vnější síly v dostatečném množství ke spojení dílů, za pomoci plastické deformace obou styčných ploch. U většiny technologií není zapotřebí přídavného materiálu, obvykle je ovšem využíváno ohřevu. Mezi nejznámější tlakové svařování patří výbuchové svařování, třecí svařování, odporové svařování, bodové a švové odporové svařování, vysokofrekvenční odporové svařování, indukční svařování, kovářské svařování, svařování tlakem za studena, svařování ultrazvukem atd. Svařování tlakem rozdělujeme dle nositele energie. (Koukal J., Zmydlený T., 2009)

4.3.1 Svařování tlakem za studena dle ČSN EN ISO 4063 metoda 48

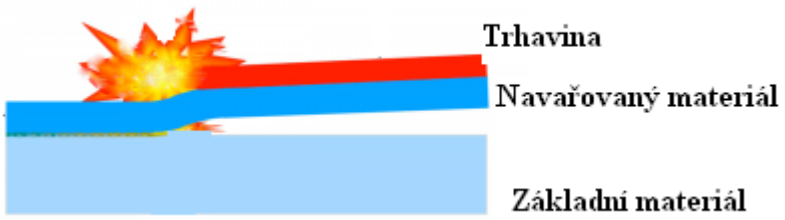
Metoda svařování za studena využívá ke svaření základních materiálů pouze tlak. Svařování probíhá při přiblížení základních materiálů na vzdálenost atomů v mřížkách při tlaku 10^3 MPa. Pro spojení musí dojít k tečení materiálu minimálně v 60 % spojované plochy. Dobře jsou touto metodou svařovány materiály s kubickou plošně středěnou mřížkou. Pro vytvoření kvalitního svaru musí být plochy zarovnané a odmaštěné. Svařování probíhá ve svařovacích lisech na jeden nebo více pěchovacích cyklů. Výhodou metody je vytváření svaru mezi rozdílnými kovy. Výsledný svar nemá tepelně ovlivněnou oblast. (Barták J., Bednář B., 2008)

Tab. 5 Doporučené hodnoty měrného tlaku pro svařování metodou 48 (*Barták J., Bednář B., 2008*)

Svařovaný materiál	Potřebný tlak [MPa]
Al + Al	Do 1000
Cu + Al	Do 2500
Cu + Cu	Do 3500

4.3.2 Svařování výbuchem dle ČSN EN ISO 4063 metoda 441

Technologie k vytvoření svaru využívá explozivní účinky rázové vlny. Spojení svařovaných dílů proběhne při výbuchu nálože mezi svařovanými materiály, na které působí tlak. Tato metoda se nejčastěji využívá pro spojení nestejných kovových materiálů. Vlastnosti spojovaných materiálů se nemění a pevnost spoje je vyšší oproti spojovaným materiálům. Velikost plastické deformace vyvolané výbuchem musí dosáhnout minimálně 30 %, aby provaření proběhlo do požadovaného stavu. Díky teplotám pod teplotou tavení můžeme spojovat materiály stejnorodé i různorodé. Tato metoda je hojně využívána k vytváření bimetalových plechů. Síla svařovaných materiálů může být od 0,1 do 40 mm. (Barták J., Bednář B., 2008)

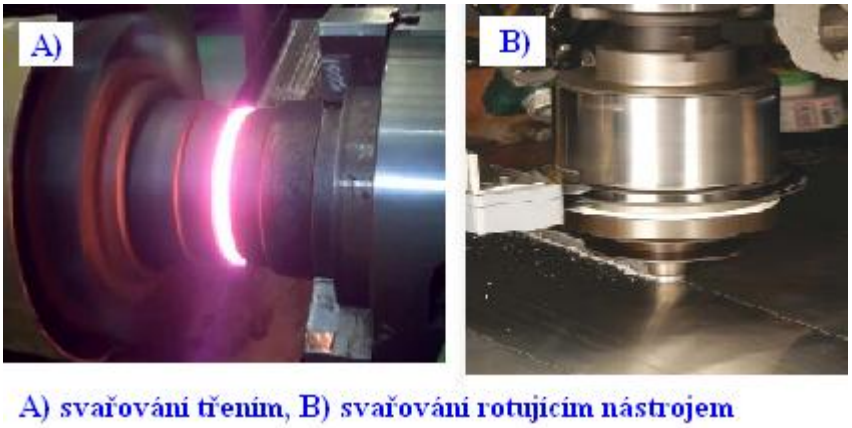


Obr. 16 Svařování výbuchem (*www.schinkmann.cz*)

4.3.3 Svařování třením dle ČSN EN ISO 4063 metoda 42

Princip svařování třením je založen na pohybu součástí pří působení přítlačné síly. Vyvolaná mechanická energie se převádí na tepelnou a dochází ke spojení materiálu v místě působení tepla. Nejčastěji jsou takto svařovány rotační součásti, jeden díl vykonává rotační pohyb a druhý stojí. Vzniklá teplota v rozmezí 80-85 % teploty tavení a působení tlaku zapříčiní slití třecích ploch. Podmínkou kvalitního spojení je udržení teplot pod teplotou tavení, krátká doba svařovaní a minimální TOO. Třecí tlak pro svařování třením při průběhu rotace je 10 až 80 MPa v závislosti

na svařovaném materiálu. V dnešní době se svařování třením hojně využívá. Metoda je poměrně dosti nemobilní a využívá se pouze v hromadné výrobě. Technologie svařování třením se využívá v kombinaci s pohybem rotujícího nástroje. Rotující nástroj zajišťuje natavení a promísení základních materiálů. Díky nízké citlivosti technologie na chem. složení materiálů je možno svařovat i materiály tavnými metodami nesvařitelné. (Kovařík R., Černý F., 2000)



Obr. 17 Svařování třením (*www.controlengcesko.com, www.m.loupak.cz*)

4.3.4 Ultrazvukové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 41

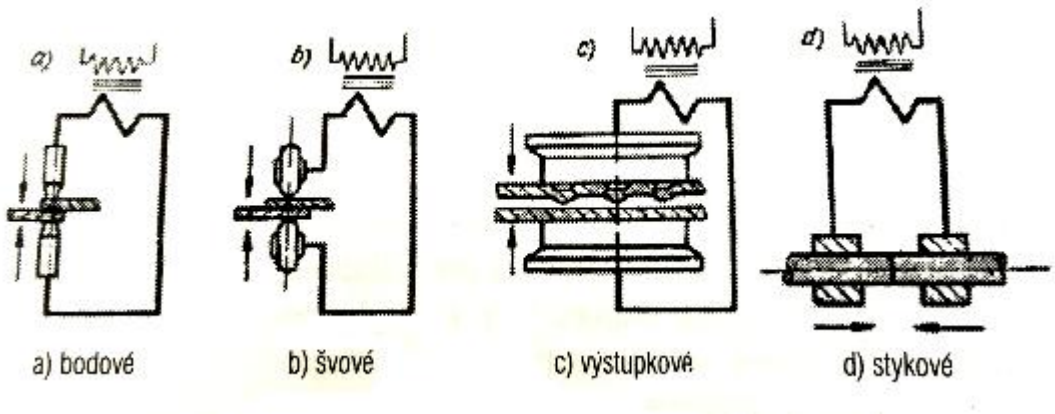
Svařování pomocí ultrazvuku probíhá za působení tlaku a mechanického kmitání o nízké amplitudě při kmitočtech nad hranicí slyšitelnosti. Kmitaní je superponované na statickou sílu, která vytvoří svar mezi svařovaným materiálem a to za teploty nižší, než je teplota tavení daného materiálu. Pokud by materiál byl hůře svařitelný, je možno použít předehřev. Tato metoda je vyžívána ke svařování hliníkových folií, stříbra, mědi a má velké využití v elektrotechnice. (Minařík V., 2011)

4.3.5 Odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 2

Odporové svařování využívá vzniku tepla, které vznikne průchodem el. proudu vodičem. Svarový spoj, vytvořený odporovým svařováním, vzniká průchodem přes stlačené součásti. Vlivem působení el. odporu vznikne v místě průchodu teplo, které roztaví svařovaný materiál a vznikne metalurgický spoj. El. proud je do svaru přiváděn elektrodami ze speciální slitiny mědi. Zdrojem proudu je většinou jednofázový transformátor. (Minařík V., 2011)

4.3.5.1 Bodové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 21

Bodovým svařováním vytváříme přeplátované spoje. Svařování probíhá mezi dvěma elektrodami a vytvořený svar je ve tvaru čočky. Materiály, které je možno svařovat bodovým svařováním by měly mít obsah uhlíku od 0,2 %. Nad vyšší procento uhlíku je potřeba volit tvrdý režim svařování. Touto metodou je možno svařovat i hliník a jeho slitiny a to pouze při odstranění oxidové vrstvy povrchu materiálu. (Barták J., Bednář B., 2008)



Obr. 18 Hlavní druhy odporového svařování (*Barták J., Bednář B., 2008*)

4.3.5.2 Švové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 22

U této technologie platí většina poznatků jako u svařování bodového. Hlavním rozdílem jsou elektrody. U metody 22 jsou elektrodami otáčející se kotouče. Mezi těmito kotouči se odvalují díly a vytváří se kontinuální svar. (Barták J., Bednář B., 2008)

4.3.5.3 Výstupkové odporové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 23

Pro použití této metody je potřeba mít materiál s malými výstupky. Tyto výstupky jsou následně taveny podobně jako u bodového svařování. (Minařík V., 2011)

4.3.5.3 Odtavovací stykové svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 24

Metody je využíváno pro svařování dlouhých tyčí. Je podobná pěchovacímu svařováni. Teplo je přiváděno ještě před stlačením a je přiváděno na spojované konce do doby, kdy se začne materiál odtavovat. Při odtavování je přitlačen spojovaný materiál. Na podobném systému funguje stlačovací stykové svařování, kde se přivádí

teplo až při působení tlaku. **Stlačovací metoda je dle ČSN EN ISO 4063 metoda 25.** (Barták J., Bednář B., 2008)

4.3.6 Indukční svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 74

Indukční svařování se využívá pro podélné svařování trubek. Proces probíhá na systému pěchování válců. Středně odtavený materiál ve svarové spáře je k sobě pěchován válci. Díky povahovému jevu a proudu o vysoké frekvenci, sleduje indukovaný proud dráhu minimální impedance a ohřev je implementován pouze na kraje svařovaného materiálu. Svařovací výkon se u svařování touto metodou pohybuje v rozmezí 150 až 300 KW a rychlost posuvu v rozmezí od 50 do 90 m. (Barták J., Bednář B., 2008)

4.3.7 Odporové přivařování svorníků dle ČSN EN ISO 4063 metoda 782

Tato metoda využívá el. odporu k přivařování svorníků, navařovacích šroubů a kolíku. Pro tuto metodu je zapotřebí speciální svářečky, která nám za působení tlaku a elektrického odporu daný svorník přivaří. (Barták J., Bednář B., 2008)

4.3.8 Difuzní svařování dle ČSN EN ISO 4063 metoda 45

Difuzní svařování se řídí Fickovými zákony. Je to svařování v tuhém stavu, kde se dosahuje monolitického spojení vazeb na atomové úrovni. Spojení vzniká za působení teploty a tlaku na kontaktních plochách. Vzájemná difuze vzniká působením plastické deformace. Svařování probíhá nejčastěji ve vakuu a zřídka v ochranných plynech. Tato metoda je využívána ke svařování tam, kde není možno použít běžné technologie. Často je používána pro svařování kovů s nekovy. (Minařík V., 2011)

5 TVORBA PŘECHODOVÝCH SVARŮ (HETEROGENNÍCH SVARŮ)

Svařování různorodých ocelí, které nemají stejné chemické složení a obsahují různé strukturální fáze, vede k degradaci jednoho či obou svařovaných materiálů. K degradaci dochází v přechodu základního materiálu do svarového kovu z důvodu vzniku fúzní zóny. Tato zóna má odlišné chem. složení a tím se mění a degradují mechanické a chemické vlastnosti. Pokud dochází k tepelnému zpracování nebo je svarový spoj vystaven dlouhodobějším teplotám nad 350 °C, vznikají mezi svarovým kovem a základním materiálem velké difúzní pochody. Především uhlík nám může vytvářet

nauhličená a oduhličená pásma. Tato pásma degradují vlastnosti spoje, což může vést ke snížení spolehlivosti a bezpečnosti svarového spoje. Nejčastěji jsou svařovány oceli na bázi austenitu a feritu. Postup zvolený pro svařování heterogenních materiálů je určován teplotou prostředí a namáháním, kterému bude svár vystaven. Tyto parametry určují chování přechodu mezi svarovým kovem a základním materiálem. Strukturní stavy v oceli lze zjistit ze Schaefflerova diagramu. Tohoto diagramu je využíváno ke stanovení strukturních stavů v přechodech mezi základním materiálem a svarovým kovem. (Koukal J., Schwartz D., 2009)

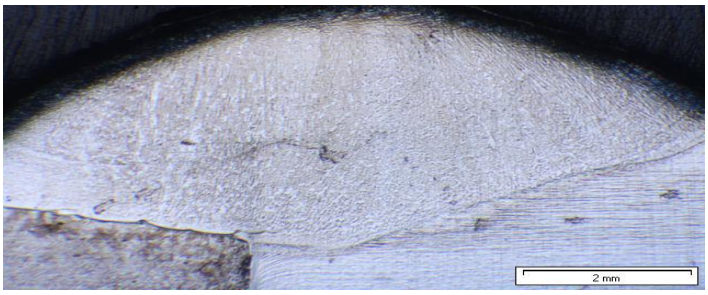
5.1 Volba procesu svařování přechodových svarů

Při svařování heterogenních materiálů je zapotřebí využití minimálního množství tepla pro co nejnižší nalegování svarového spoje. Nejvhodnější pro vytváření heterogenních spojů je využití metod svařování elektronovým paprskem, třením nebo mikroplazmou. Tyto metody je možno realizovat v málo případech, proto je vhodné použít běžně dostupnou metodu 111. Při využití této metody je ovšem zapotřebí pracovat s malými teplotními příkony. Pro účely vytváření heterogenních spojů je také možno využít technologie tavící se elektrody v neutrálním plynu. Naopak nevhodné jsou technologie svařování pod tavidlem a elektrostruskové svařování, protože u těchto metod dochází k velkému promíšení základního materiálu a svarového kovu. Tyto metody je možné použít pouze pro svary, které budou využívány v prostředí do 350 °C, kde nebude docházet k difuzi uhlíku a tvorbě pásem. (Koukal J., Schwartz D., 2009)

5.2 Problémy při vytváření přechodových svarů na bázi A - F

Při vytváření přechodových svarů na bázi (A - F) se svary rozdělují dle pracovní teploty na svary pracující do 350 °C a nad 350 °C. Toto rozdělení se uplatňuje z důvodu potlačení nauhličených a oduhličených pásem na minimum. Pokud svarový kov pracuje do 350 °C, svařujeme austenitickými elektrodami. Tyto elektrody dodávají plastický svarový kov, jenž má vysokou houževnatost. Také je možno použít elektrod dodávajících nízkolegovaný svarový kov s nízkým obsahem uhlíku. Zásadně se ke svařování využívají bazické elektrody pro co nejmenší nalegování svarového kovu. Při vytváření svarového spoje pracujícího nad 350 °C používáme postup, který zabraňuje difúzi uhlíku. Nejvhodnější je použití elektrod s obsahem niklu vyšším

než 30 %. Nejčastěji při vytváření svarového kovu, pracujícího při teplotě nad 350 °C, využíváme předehřevu v rozmezí 150 až 250 °C (Koukal J., Schwartz D., 2009)



Obr. 19 Heterogenní svar materiálu na bázi (F-A)

5.3 Svařování korozivzdorných ocelí s běžnými uhlíkovými oceli

Korozivzdorná ocel svařovaná s nelegovanou nebo nízkolegovanou ocelí, může dosahovat vynikajícího výsledku, je-li uhlíková ocel svařitelná a jsou-li dodrženy určité zásady. Velmi důležité je zamezit vzniku trhlin ve svarovém kovu a v TOO. Pokud použijeme pro spojení těchto dílů materiál určený ke svařování nízkolegovaných ocelí, vznikne nám vysocelegovaná martenzitická struktura svarového kovu. Podobnou strukturu získáme i při použití svařovacího materiálu pro korozivzdornou ocel. Pro vytvoření kvalitního heterogenního spoje korozivzdorné oceli s běžnou uhlíkovou existují tři postupy. Většina svarových kovů pro svařování těchto spojů, je založena na vytvoření austenitické struktury s nízkým obsahem feritu. Pro takovéto spoje jsou používány přelegované přídavné materiály typu 23Cr12Ni a 29Cr9N. Možnost vytvořit svarový kov s austenitickou strukturou nám dává i přídavný materiál 18Cr8Ni6Mn, kde zamezení trhlin přispívá vysoké množství manganu. Třetí postup využívá k zamezení difúze uhlíku do svaru vysoký obsah niklu. Přibližné složení struktury svarového kovu a vhodnost použitého materiálu pro daný spoj získáme ze Schaefflerova diagramu. Tohoto diagramu je možno využít pro zjištění výsledné struktury svarového kovu s použitím určitého přídavného materiálu při svařování homogenních materiálů na bázi A – F. Výslednou strukturu svarového kovu ovlivňuje procento promísení základního materiálu s přídavným materiálem. Na promísení má největší vliv použitá svařovací technologie, rychlost svařování a teplo přivedené do svaru.

Tab. 6 Typické hodnoty promísení základního materiálu s přídavným pro dané svařovací metody (ESAB Svařování nerezavějících ocelí tech. příručka)

Svařovací metoda	111	12	13	14
% promísení	25 až 40	20 až 50	15 až 40	25 až 100

6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část práce je zaměřena na výrobu svaru mezi dvěma různými základními materiály ČSN 11 321 a ČSN 17 240 a následným vyhodnocením kvality těchto spojů. Pro vytvoření svaru je využito nejrozšířenějších a běžně dostupných metod svařování TIG, MIG, MMA a bodové odporové svařování. Pro zjištění a urychlení korozní degradace svaru jsou vzorky vkládány do solné mlhy. Experimentální část je rozdělena do těchto částí:

- příprava vzorků
- metalografické vyhodnocení kvality svarů
- podrobení vzorků účinkům solné mlhy a následné metalografické vyhodnocení kvality svaru
- měření mikrotvrdosti heterogenního svaru

6.1 Příprava vzorků

Jako základní materiál pro přípravu vzorků z běžné uhlíkové oceli je použita ocel ČSN 11 321. Pro přípravu vzorků z korozivzdorné oceli byla použita běžná potravinářská ocel ČSN 17 240. Základními materiály byly plechy o tloušťce 2 mm. Tyto plechy se nadělily stříháním na potřebné obdélníky o rozměru 70x500 mm. Následně byly obdélníky svařeny a nastříhány na vzorky o rozměrech 20x140 mm. Svaření větších dílů a následné nadělení na potřebné vzorky bylo zvoleno z důvodu eliminace zápalů a nedovarků na každém kusu vzorku. Před svařením byly vzorky zbaveny mastnoty za pomoci trychloru a následného vyvaření v horké vodě. Odstranění mastnoty je velice důležitá operace. Při odmaštění jsou eliminovány nežádoucí látky, jenž by mohly ovlivnit kvalitu svaru.

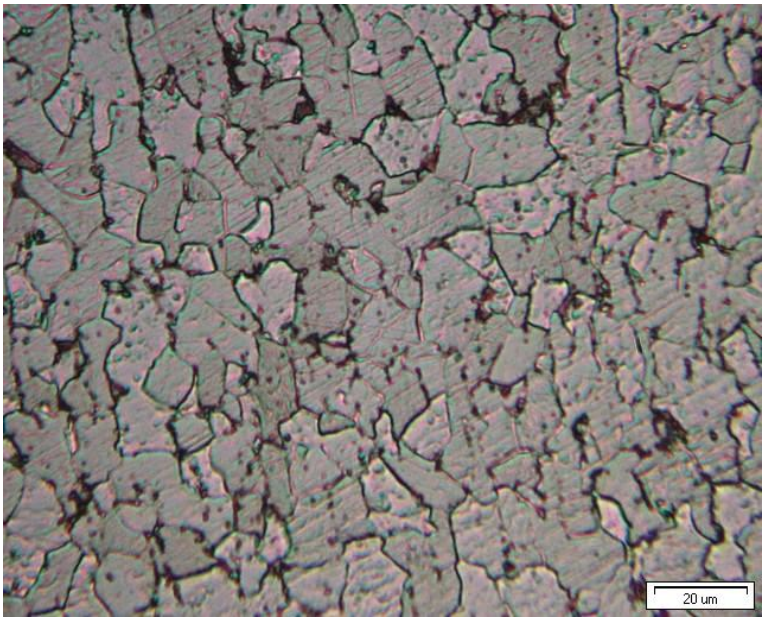
Obr. 20 Svařenec met. 111 před nadělením na potřebný rozměr

6.1.1 Základní materiál ČSN 11 321 (1.0330)

Jedná se o běžnou uhlíkovou ocel s nízkým obsahem uhlíku a dobrou svařitelností všemi běžně používanými metodami. Je válcovaná za studena a vhodná ke střednímu tažení. Tato uhlíková ocel je běžně používaná a dostupná.

Tab. 7 Chem. složení materiálu ČSN 11 321 (Atest materiálu č. 346545)

Chemické složení oceli ČSN 11 321										
% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Al	% Nb	% Mo	% N	Rm (Mpa)	RP 0,2 (Mpa)
0,04	0,24	0,05	0,012	0,013	0,052	0,001	0,003	0,004	317	174



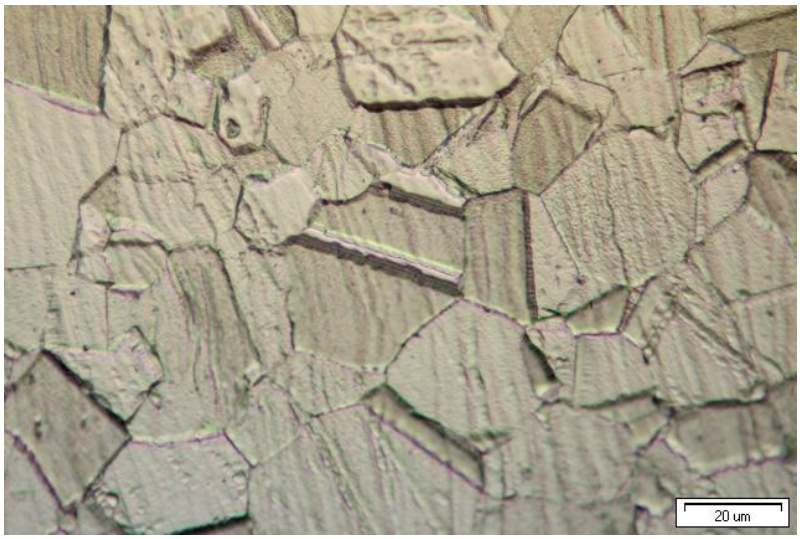
Obr. 21 Základní struktura materiálu 11 321

6.1.2 Materiál ČSN 17 240 (1.4301)

Tab. 8 Chem. složení materiálu ČSN 17 240 (Atest materiálu č. 1474372)

Chemické složení oceli ČSN 17 240										
% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% N	Rm (Mpa)	RP 0,2 (Mpa)
0,024	1,68	0,32	0,026	0,001	18,6	8,08	0,22	0,62	611	295

Jedná se o nejčastěji používanou korozivzdornou chrom-niklovou austenitickou potravinářskou ocel. Je běžně dostupná a její svařitelnost je dobrá. Časté obchodní značení je AISI 304.



Obr. 22 Základní struktura materiálu 17 240

6.1.3 Svaření vzorků metodou TIG

Tato metoda byla vybrána pro její velké rozšíření ve výrobních provozech a pro její všestranné použití. Metoda využívá hoření oblouku mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v ochranném plynu. Přídavný materiál je přidáván dle potřeby, ve formě přídavného drátu. Je nejčastěji využívána ke svařování nerezových ocelí a hliníkových slitin.

Pro vytvoření svaru bylo použito zařízení Fronius TransTig 1700 G/Z. Tento svařovací zdroj je spojen s vodním chlazením hořáku AlfaIN CS10, které umožňuje chladit hořák při využití vysokého svařovacího proudu. Díky tomuto chlazení je možno snížit průtok ochranného plynu o 20 až 30 %. Použitý invertor je menších rozměrů a je možno jej využít jak v nepřetržité výrobě, tak na montážích mimo výrobní prostory.

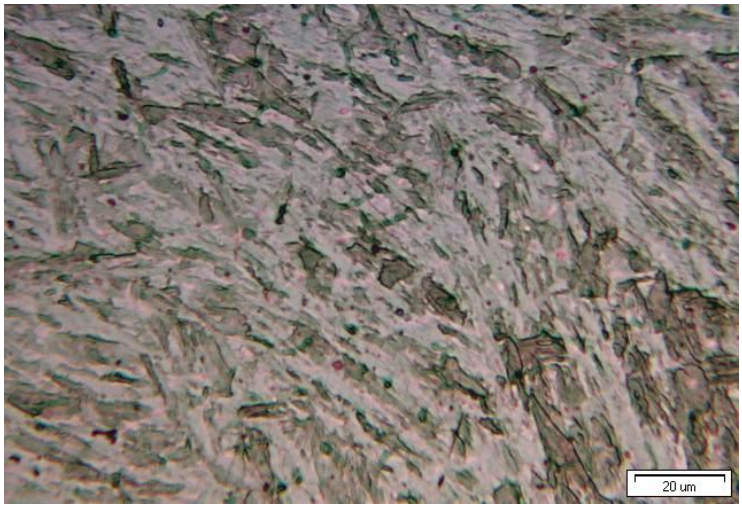
Tab. 9 Technické parametry svař. invertoru Fronius TransTig 1700

Technické parametry	
Síťové napětí:	**230 V, 50-60 Hz**
Rozsah svařovacího proudu:	**TIG 2 až 170 A**
	Elektroda 10 až 170 A
Napětí na prázdno:	**92 V**
Zapalovací napětí:	**7,5 kV**
Krytí:	**IP 23**
DZ 35%:	**170 A**
DZ 60%:	**135 A**
DZ 100%:	**120 A**
Hmotnost:	**9,1 Kg**

Pro vytvoření svaru bylo použito přídavného materiálu Kowax ER 308 LSi o tloušťce 1,6 mm. Jedná se o nerezový svařovací drát, jenž je běžně využíván ke svařování běžných nerezových ocelí. Tento přídavný materiál byl zvolen z důvodu docílení větší korozní odolnosti svaru při svaření korozního materiálu s antikorozním. Ochranný plyn byl použit Argon 4.6 od společnosti Linde.

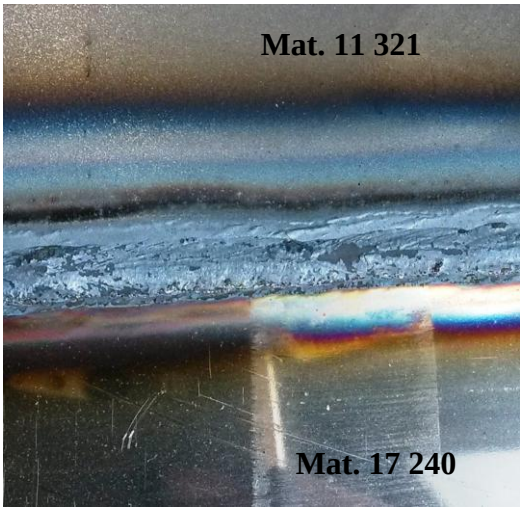
Tab. 10 Chemické složení přídavného materiálu Kowax ER 308 LSi

Chemické složení přídavného materiálu				
C (%)	**Ni (%)**	**Si (%)**	**Mn (%)**	**Cr (%)**
0,03	**10**	**0,80**	**1,80**	**20,30**



Obr. 23 Struktura přídavného mat. Kowax ER 308 LSi

Pro svaření základních materiálů byl svařovací invertor nastaven na 72 A, polarita hořáku přímá. Průtok ochranného plynu byl nastaven na hodnotu 8 l.



Obr. 24 Svarová housenka TIG základních materiálů 11 321 a 17 240

Z obrázku č. 24 je patrné, že TOO oblast u mat. 11 321 je dvojnásobně větší oproti mat. 17 240. Povrch svaru je téměř hladký až na částice oxidu Fe, vzniklých při svařování mat. 11 321.

6.1.4 Svaření vzorku metodou MIG

Metoda MIG je v dnešní době velmi využívána v automobilovém průmyslu a také v automatizaci a robotizaci. Umožňuje výborné spojení při svařování uhlíkových a korozivzdorných materiálů. Ve velkém tato metoda nahradila svařování elektrickým obloukem. Mobilnost této metody je menší oproti metodě MMA z důvodu nutnosti použití tlakové láhve na ochranný plyn a rozměrově dosti náročné cívky s přídavným materiálem. U této metody dochází k hoření oblouku mezi přídavným materiálem a základním materiálem.

Pro vytvoření svaru bylo použito zařízení Alfain ALF 250 MAJOR-44 AXE.

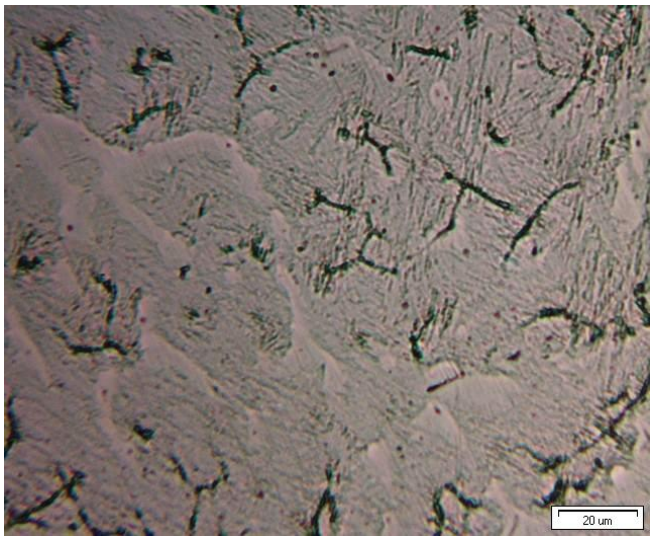
Tab. 11 Technické parametry invertorového zdroje Alfain ALF 250 MAJOR-44 AXE

Technické parametry	
Síťové napětí:	**400 V, 50-60 Hz**
Rozsah svařovacího proudu:	**40 až 250 A**
Napětí na prázdno:	**17.9 až 42 V**
Zapalovací napětí:	**7,5 kV**
Krytí:	**IP 23**
DZ 30%:	**250 A**
DZ 60%:	**200 A**
DZ 100%:	**170 A**
Hmotnost:	**76 Kg**
Rychlost posuvu drátu:	**1 až 20 m/min**
Počet regulačních stupňů:	**10**

Zvolený přídavný materiál byl nerezový svařovací drát Nevinox 309 LSi o tloušťce 0,8 mm. Tento přídavný materiál je využíván pro svařování běžných korozivzdorných materiálů a pro vytváření heterogenních spojů. Volba antikorozního přídavného drátu byla opět z důvodu zvýšení korozní odolnosti svaru a vytvoření kvalitního homogenního spojení.

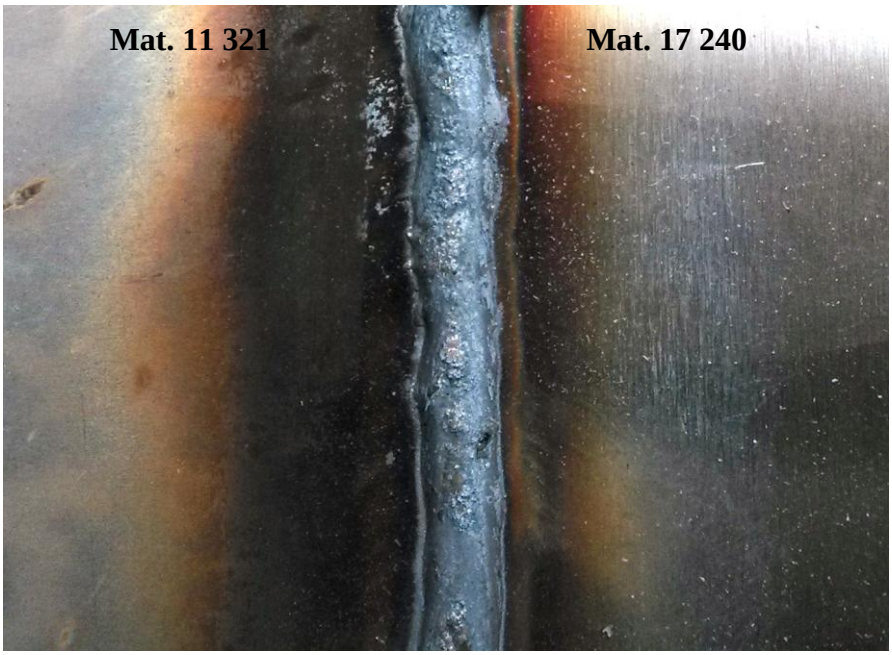
Tab. 12 Chemické složení přídavného materiálu Nevinox ER 309 LSi

Chemické složení přídavného materiálu				
C (%)	**Ni (%)**	**Si (%)**	**Mn (%)**	**Cr (%)**
0,02	**10**	**0,8**	**1,80**	**22**



Obr. 25 Struktura přídavného mat. Nevinox ER 309 LSi

Při svařování základních materiálů byl svařovací zdroj nastaven na regulační stupeň 4, rychlost odvíjení drátu na hodnotu 4,6 $m \times min^{-1}$ a průtok plynu na 12 l.



Obr. 26 Svarová housenka MIG základních materiálů 11 321 a 17 240

Na obrázku č. 26 je viditelný velký rozsah TOO na materiálu 11 321. Svarový kov má typický tvar pro tuto metodu. Je viditelný mírný rozstřik přídavného materiálu v okolí svaru.

6.1.5 Svaření vzorku obalenou elektrodou metodou MMA

Technologie svařování obalenou elektrodou je velice mobilní a mnohostranná. Patří mezi nejstarší technologie svařování a v posledních letech svařovací zdroje pro tuto technologii doznaly významných změn.

Pro svaření dílů bylo použito zařízení Fronius TRANSPOCKET 1400

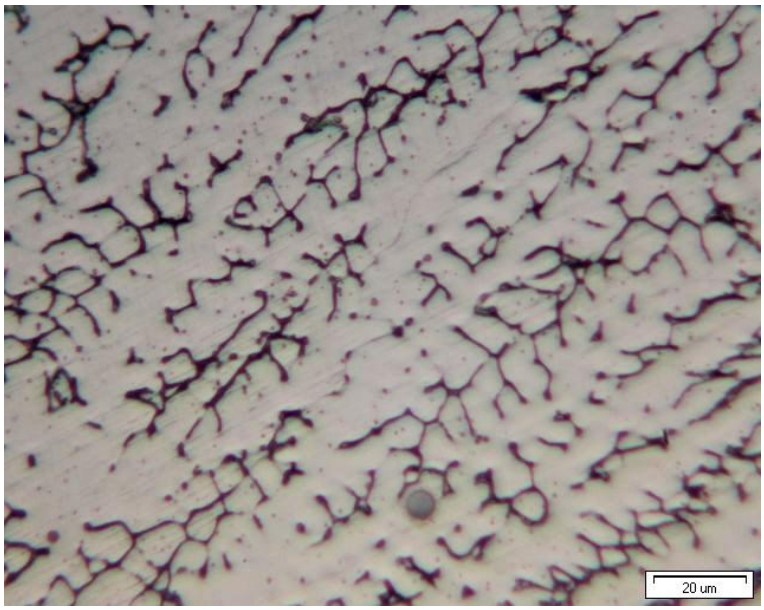
Tab. 13 Technické parametry svařovacího zdroje Fronius TRANSPOCKET 1400

Technické parametry	
Síťové napětí:	**230 V, 50-60 Hz**
Rozsah svařovacího proudu:	**5 až 140 A**
Napětí na prázdno:	**16 V**
Max. ef. proud	**16 A**
Krytí:	**IP 23**
DZ 35%:	**140 A**
DZ 50%:	**120 A**
DZ 100%:	**100 A**
Hmotnost:	**4,2 Kg**

U této svařovací metody byly použity dva druhy přídavného materiálu. První byla obalená bazická elektroda ESAB OK 67.60 o tloušťce 2 mm určená pro svařování korozivzdorných ocelí s běžnými uhlíkovými. Pro druhý vzorek byla použita obalená bazická elektroda ESAB OK 63.85 o tloušťce 2,5 mm pro svařování materiálů podobného chemického složení.

Tab. 14 Chemické složení přídavného materiálu ESAB OK 67.60

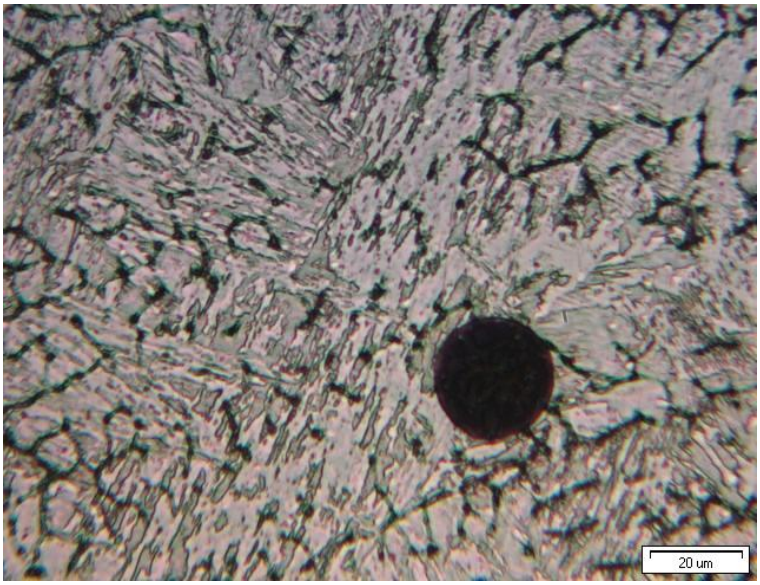
C (%)	Ni (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	P (%)	S (%)	Mo (%)	Cu (%)
0,025	**13,1**	**0,79**	**0,82**	**24,2**	**0,019**	**0,012**	**0,14**	**0,15**



Obr. 27 Struktura přídavného mat. ESAB 67.60

Tab. 15 Chemické složení přídavného materiálu ESAB OK 63.85

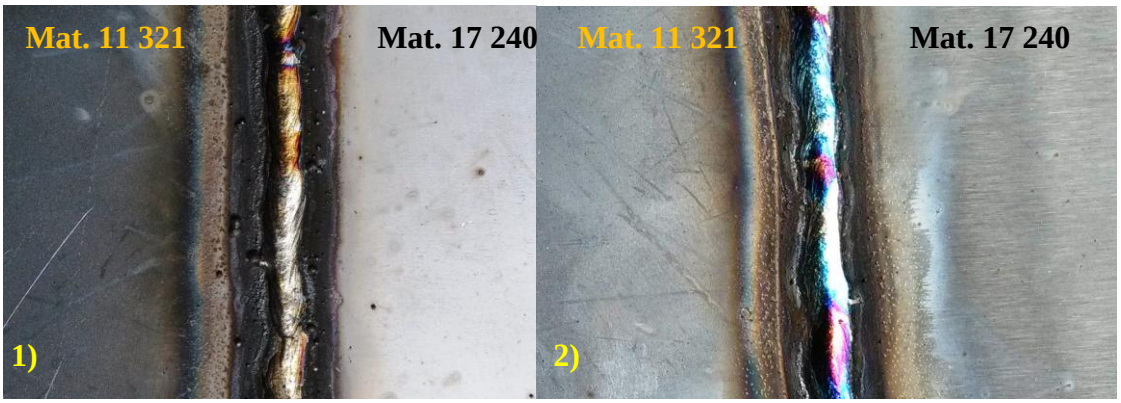
C (%)	Ni (%)	Si (%)	Mn (%)	Cr (%)	P (%)	S (%)	Mo (%)	Cu (%)
0,06	12,5	0,4	1,7	18,5	0,025	0,02	2,8	0,5



Obr. 28 Struktura přídavného mat. ESAB OK 63.85

Svářecí invertor byl nastaven u elektrody OK 67.60 na 73 A, u elektrody OK 63.85 na 80 A. Elektroda je vždy připojena na plus pól stejnosměrného napětí.

Z obr. 29 je patrné, že při použití obalené elektrody je TOO na obou základních materiálech téměř stejná. Svarová housenka je v obou případech použití přídavného materiálu rovnoměrná. V okolí svaru se nadále vyskytují zbytky zatavené strusky.



Obr. 29 1) Svarová housenka met. MMA s využitím elektrody OK 67.60 2) s využitím elektrody OK 63.85 základních materiálů 11 321 a 17 240

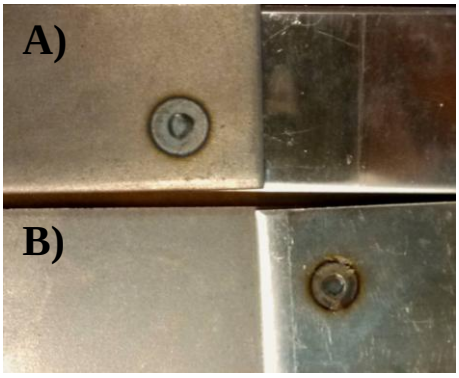
6.1.6 Svaření vzorku bodovým odporovým svařováním.

Odporové svařování je v dnešní době velice využíváno v automobilovém průmyslu a v lehké strojírenské výrobě. Pro spojení základního materiálu bylo použito přenosných bodovacích kleští TECNA 7903.

Tab. 16 Technické parametry svařovacího kleští TECNA 7903

Technické parametry	
Síťové napětí:	**400 V, 50-60 Hz**
Max. přítlak elektrod	**120 N**
Napětí na prázdno:	**16 V**
Max. svařovací výkon:	**16 kVA**
Trvalý výkon	**4,3 kVA**
Nominální výkon při 50%:	**6 kVA**
Jištění	**16 A**
Příkon:	**13,5 kVA**
Hmotnost:	**15 Kg**

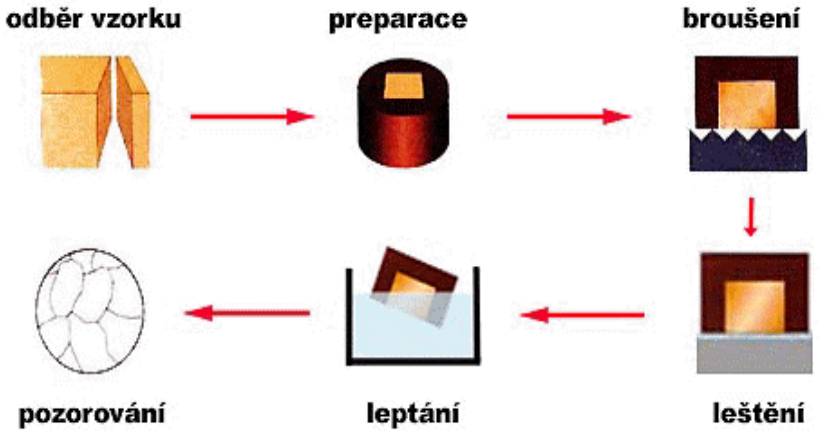
Na obrázku 29 je viditelný tvar bodového spojení. Na obr. 30 A) je viditelný svarový bodový spoj mat. 11 321 a na obr. 30 B) svarový bodový spoj mat. 17 240. Z obrázku A a B je patrné, že TOO oblast je větší na základním materiálu 11 321.



Obr. 30 Bodový svar mezi základními materiály

6.2 Metalografické hodnocení kvality svaru

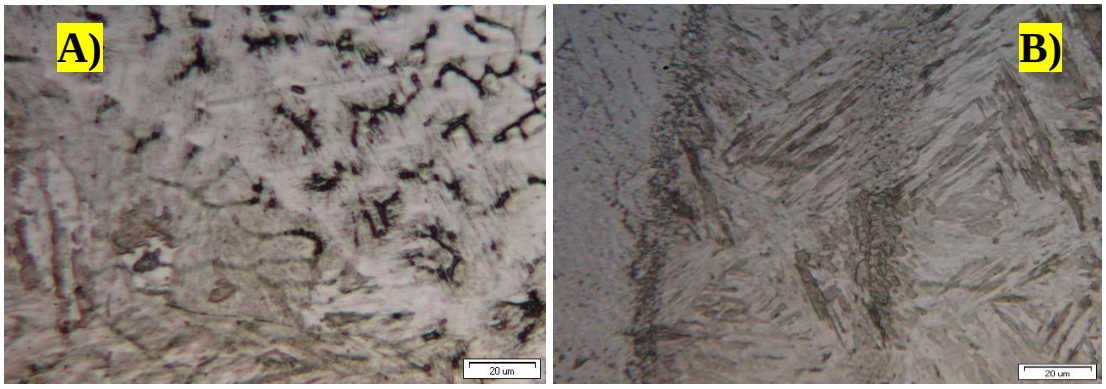
Pro vyhodnocení kvality vyhotovených svarů bylo použito metalografického zkoumání materiálu. Metalografie je věda, pojednávající o vnitřní stavbě kovů a slitin. Principem této metody je zviditelnění struktury kovu či slitiny kovů a následné zkoumání struktury pod metalografickým mikroskopem. Kovy jsou neprůhledné, z těchto důvodů používáme mikroskopy v režimu odrazu. Pro dokonalý odraz je zapotřebí pozorované vzorky řádně připravit, aby kovy byly hladké a lesklé. (Kol. autorů VŠCHT., 2. 12. 2008: Metalografie I. – příprava vzorku pro pozorování mikroskopem. Dostupné na www.vscht.cz)



Obr. 31 Schéma postupu přípravy vzorků na pozorování pod metalografickým mikroskopem (*www.vscht.cz*)

Po náročné přípravě jsou vzorky vloženy pod mikroskop a jsou pořízeny potřebné fotografie. Výsledné snímky jsou podrobeny zkoumání vyfotografované struktury.

6.2.1 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou Tig

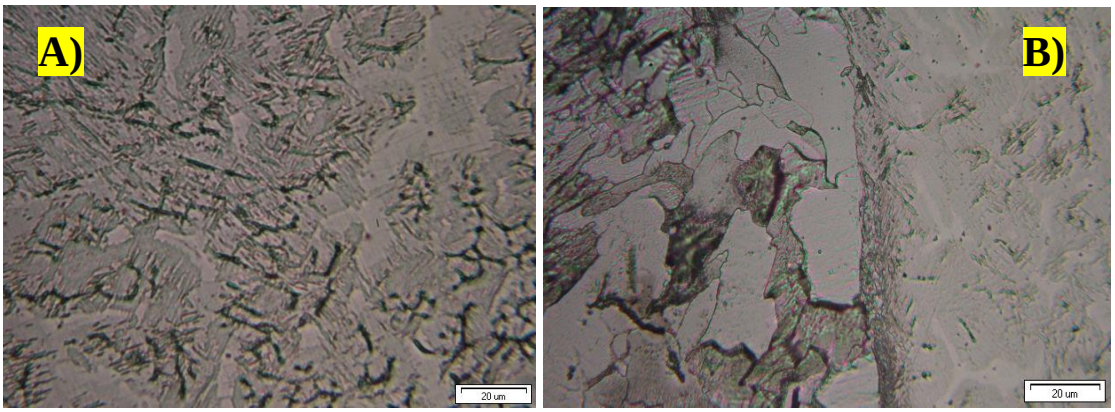


Obr. 32 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou TIG

A) Svar + nerez: Z metalografického výbrusu je patrný pozvolný přechod fázových struktur ze svarového kovu do základního materiálu. Jedná se o austenitické fáze, které jsou charakteristické protáhlým zrnem.

B) 11 321 + svar: Struktura je charakteristická ostrým přechodem svarového kovu do feriticko-perlitické struktury základního materiálu 11 321. Na základě metalografického výbrusu lze charakterizovat nízkou antikorozní odolnost TOO z důvodu absence legujících prvků.

6.2.2 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou Mag

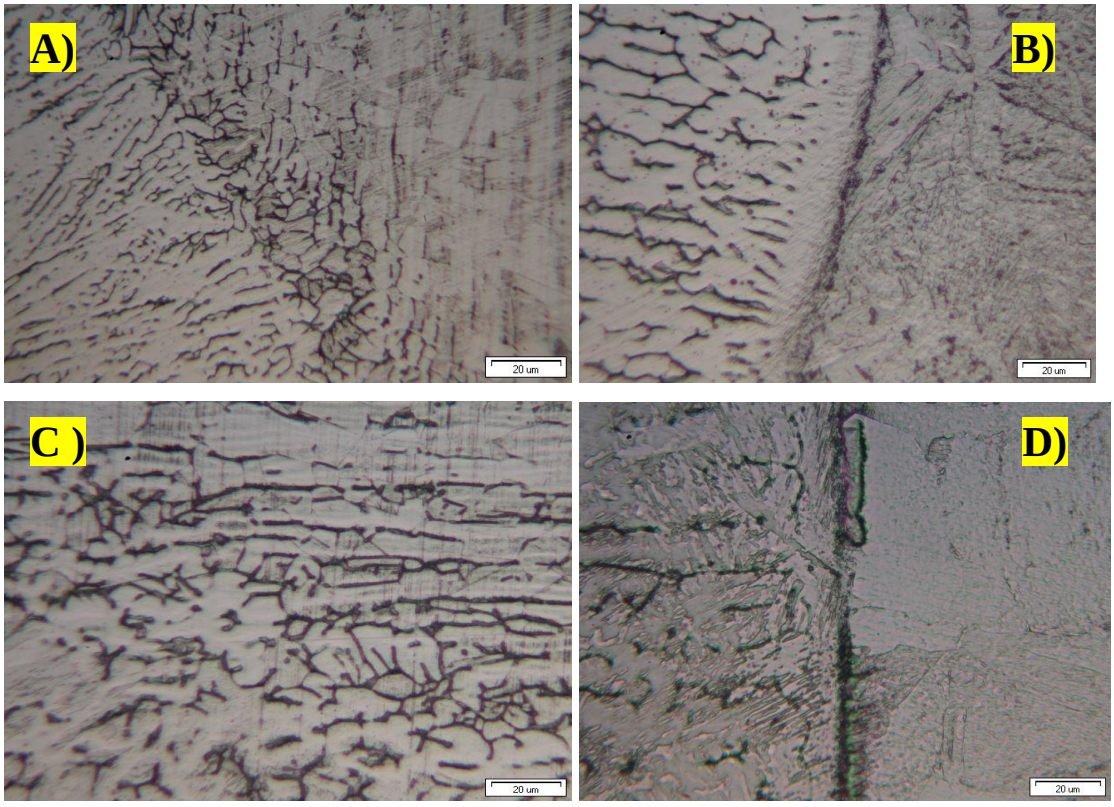


Obr. 33 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou Mag

A) **Svar + nerez:** Na základě výborného promíšení svarového kovu se základním materiálem a následné tvorby přechodové struktury, lze obtížně charakterizovat hranici tepelně ovlivněné oblasti. Z tohoto důvodu lze usuzovat i na zvýšenou odolnost proti korozním napadení.

B) **Svar + 11 321:** Materiál 11 321 vykazuje minimální natavení feritických zrn a poměrně ostrou hranici mezi svarovým kovem. Perlit je vyloučen na hranici zrn, v závislosti na segregaci uhlíku uvnitř feritu.

6.2.3 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou MMA



Obr. 34 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou MMA

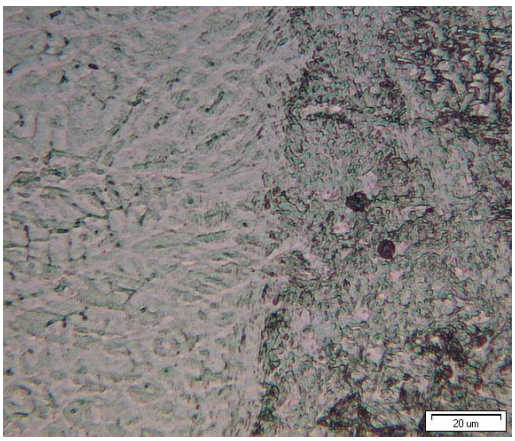
A) **Svarový kov OK 67.60 + nerez:** Na metalografickém výbrusu je charakterizována přechodová elektroda a tepelně ovlivněná oblast do základního materiálu 17 240. Dle charakteru legujících prvků lze předpokládat nižší procentuální zastoupení legujících prvků (Cr, Ni) v základním materiálu než v obalené elektrodě.

B) **Svarový kov OK 67.60 + 11 321:** Přechodová struktura tvořená směsicí intersticionálního tuhého roztoku uhlíku v železe alfa je výrazně legována základními prvky z obalené elektrody. Tento aspekt se projevuje převážně v tvorbě úzkého pásma přechodové struktury.

C) **Svarový kov OK 63.85 + nerez:** Z daného metalografického výbrusu je patrná členitá tvorba dendritických útvarů základního materiálu. Promíšení a tepelně ovlivněná oblast je kontinuální.

D) **Svarový kov OK 63.85 + 11 321:** Tavnou lázeň svarového spoje lze charakterizovat ostrou přechodovou oblastí mezi taveninou a základním ocelovým mat. 11 321. Tato oblast s nízkým procentuálním zastoupením legujících prvků, může být příčinou iniciátoru vzniku mezikrystalické i transkrystalické koroze.

6.2.4 Metalografické zkoumání přechodu svaru mezi základním a přídavným materiálem zhotoveným metodou odporového bodového svařování.



Obr. 35 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného bodovým svařováním

Absence přídavného materiálu, který zásadně obohacuje svarový spoj o antikorozní prvky, způsobuje přímé promíšení obou základních materiálů. Dle dané charakteristiky svařovací technologie může rovněž docházet k vypalování leg. prvků ze základního materiálu 17 240. Takto ochuzená oblast kolem svarové čočky opět může vést k předčasnému koroznímu napadení dané oblasti.

6.3 Podrobení vzorků účinkům solné mlhy a následné vyhodnocení kvality svaru

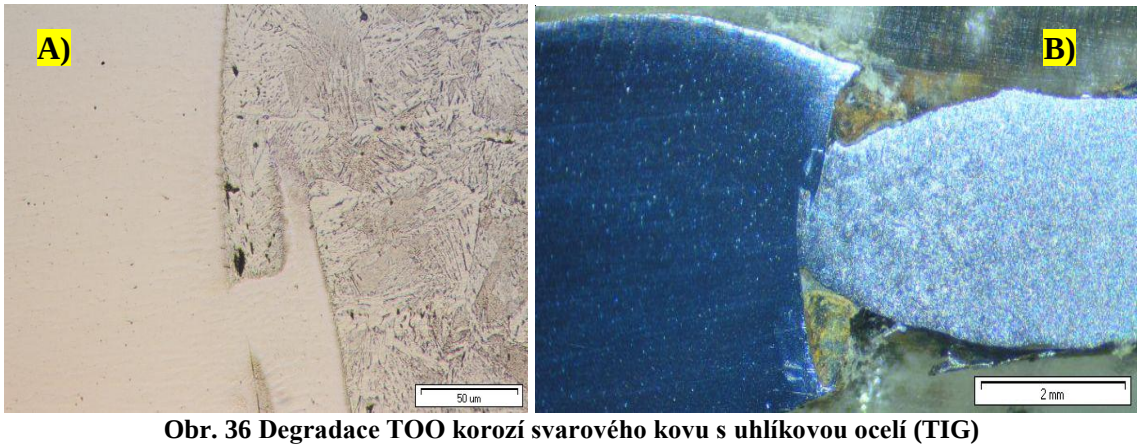
Pro zjištění korozní odolnosti svaru v přechodu zejména mezi svarovým kovem a běžnou uhlíkovou ocelí, byly vzorky vystaveny účinkům solné mlhy. Zkouška korozní odolnosti byla provedena standardní normalizovanou metodou ČSN ISO 9222 – zkouška solnou mlhou. Připravené vzorky byly účinkům solné mlhy podrobovány po dobu devadesáti dnů. Odběr vzorků pro porovnání postupu koroze byl zvolen v intervalu třiceti dnů. Od každé metody svařování bylo připraveno dvacet vzorků, které byly umístěny do solné komory Liebisch S400-MTR.

Pro správný průběh zkoušky byla koncentrace chloridu sodného udržována na 50 g/l ± 10 g při teplotě 34 °C ± 1,5 °C, hodnota pH roztoku na hodnotách 6,1 až 7,2.

6.4 Hodnocení kvality svaru po podrobení vzorků účinkům solné mlhy

Vzorky podrobené účinkům solné mlhy po dobu devadesáti dnů, byly následně podrobeny opět metalografickému zkoumání pro zhodnocení kvality přechodu svaru mezi běžnou uhlíkovou ocelí a svarovým kovem. Zkoumání přechodové oblasti mezi korozivzdorným materiálem a svarovým kovem nebylo nutné, z důvody použití svarového kovu na bázi austenitické korozivzdorné oceli.

6.4.1 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou TIG

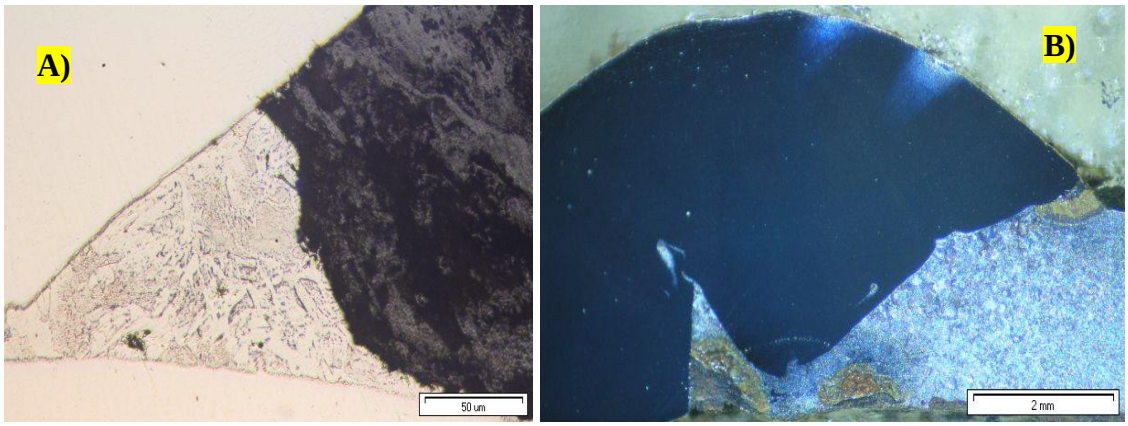


Obr. 36 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (TIG)

A) Dle daného metalografického pozorování lze konstatovat vznik bodové koroze mezi svarovým kovem a ocelí 11 321.

B) Postup koroze v TOO začíná mezi svarovým kovem a ocelovým materiálem 11 321. Degradační proces je zaznamenán až do 1/3 tloušťky základního materiálu.

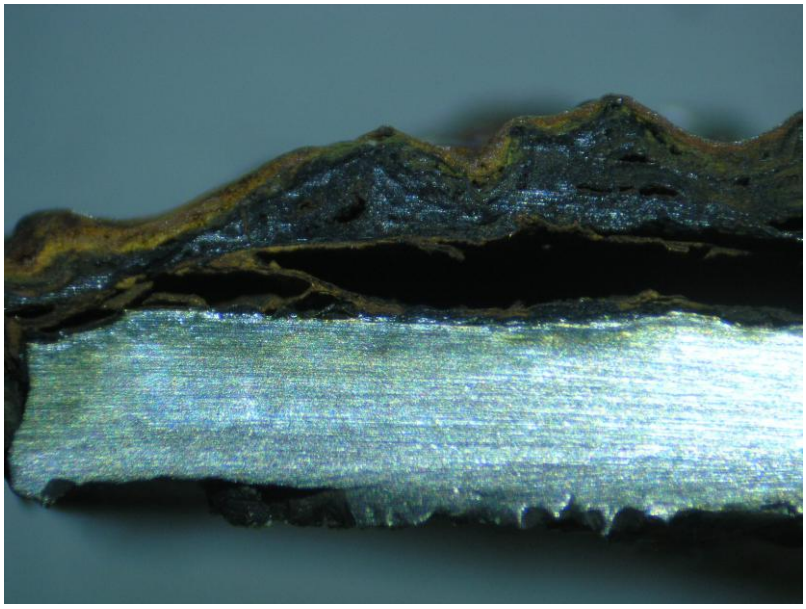
6.4.2 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou MIG



Obr. 37 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MIG)

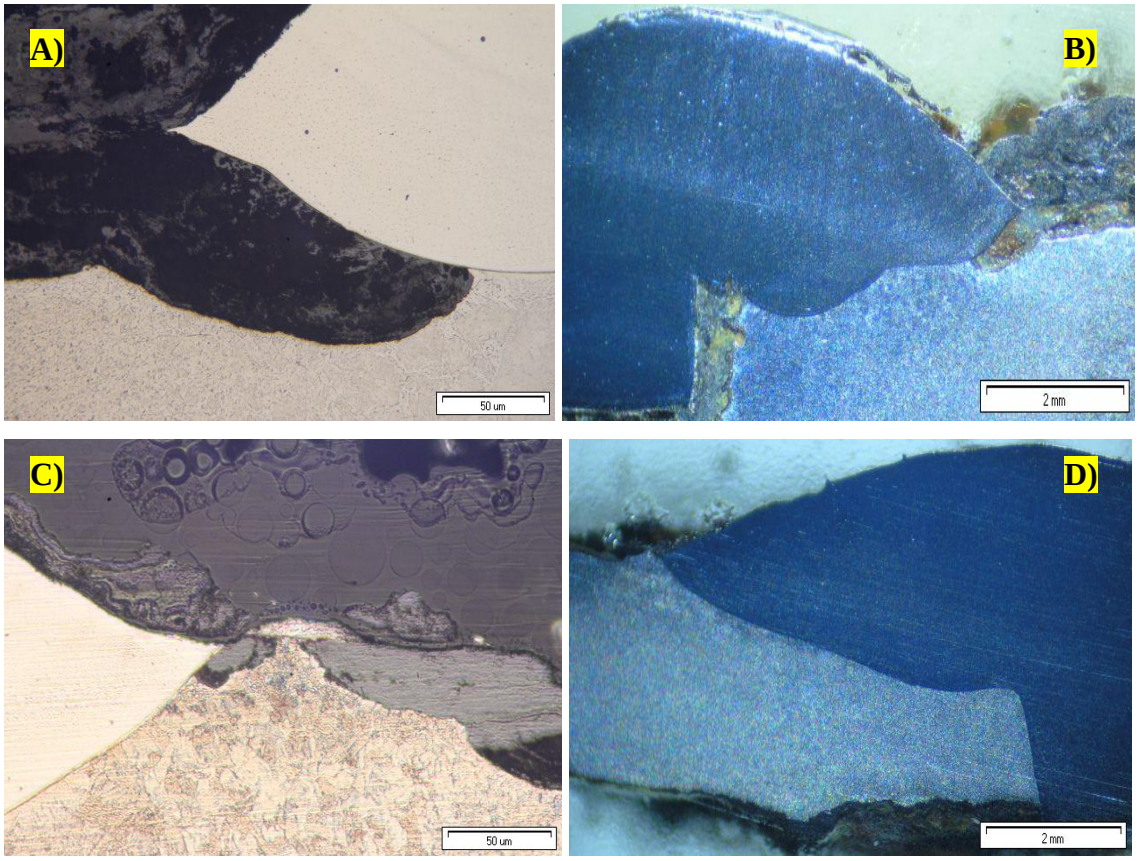
A) Postup koroze mezi svarovým kovem a TOO oceli 11 321 je charakteristický lokalizací degradace v ostrých přechodových fázích. Počáteční rozvoj můžou iniciovat i zápaly na okraji svarové housenky.

B) Dle dané charakteristiky korozního napadení lze pozorovat i degradační procesy v oblasti kořene svarové housenky.



Obr. 38 Postup koroze na základním mat. 11 321

6.4.3 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným metodou MMA



Obr. 39 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MMA)

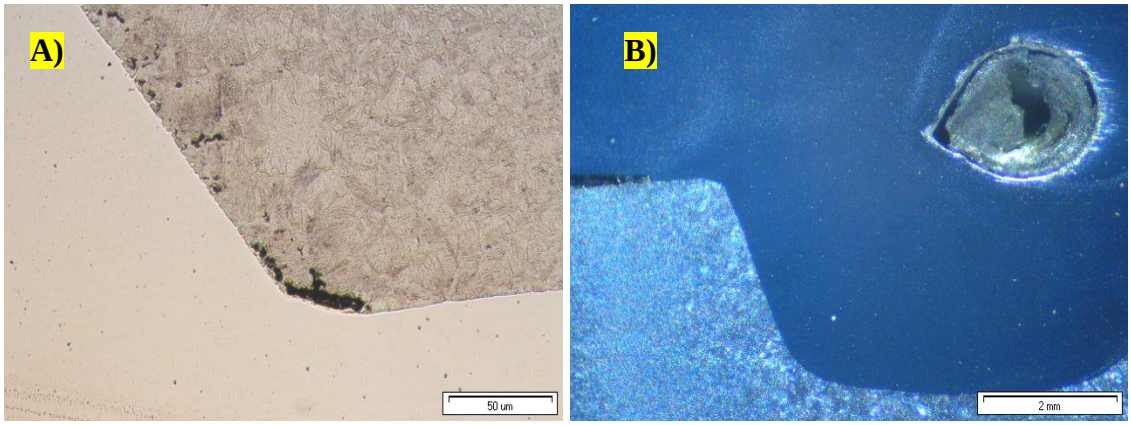
A) Problematika tavného svařování je především v nižším promíšení svarového kovu se základním materiálem. Dle daného obr. lze konstatovat korozní napadení v TOO, kde dochází k urychlení korozní reakce v důsledku absence legujících prvků.

B) Při technologické chybě svařování (neprovařený kořen) dochází k enormní korozní zátěži, jelikož v dané oblasti je urychlena výměna iontů Fe×O, čímž se usnadňuje průchod el. proudu a vzniká elektrochemická koroze. Nastartování korozního procesu značně zatěžuje přechodovou oblast svarového spoje a základního materiálu.

C) Nejlepší výsledky vykazuje svarový spoj elektrody OK 63.85. Dle metalografického výbrusu je sice patrný zápal v oblasti svarové housenky a základního materiálu, ale nepotvrdil se žádný potencionální parametr nastartování korozního článku.

D) Korozní napadení vykazuje pouze základní materiál 11 321. Dle daného metalografického pozorování není zaznamenán žádný postup korozního napadení v přechodové oblasti. Rozvoj koroze nebyl prokázán ani v oblasti kořene svaru, pro kterou je počátek koroze charakteristický.

6.4.4 Hodnocení přechodu mezi uhlíkovou ocelí a svarovým kovem tvořeným odporovým bodovým svařováním



Obr. 40 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MMA)

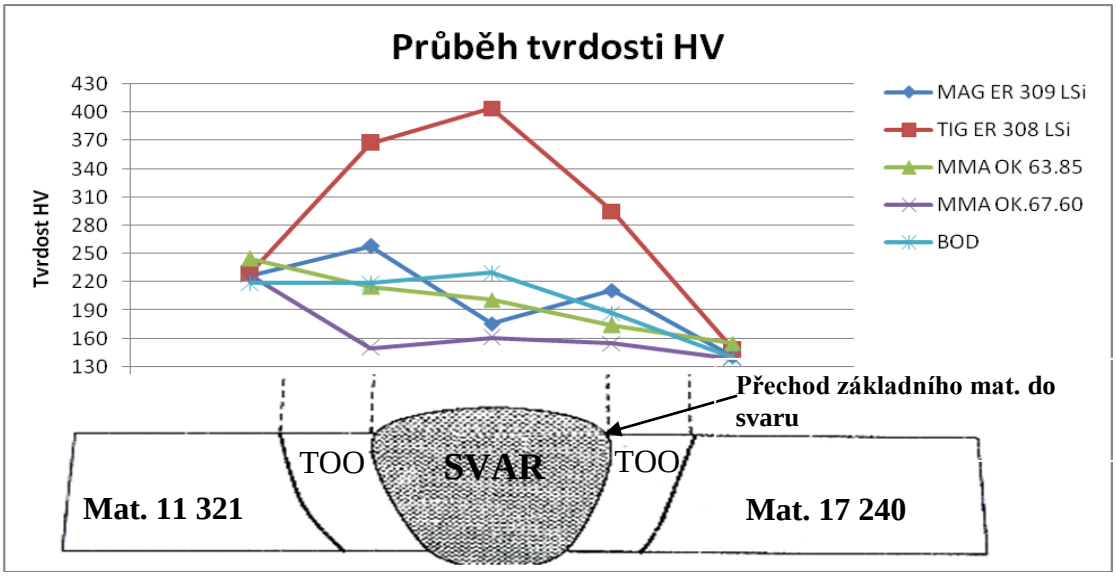
A) Bodové svařování představuje pro svoji rychlost a univerzálnost jednu z možností tvorby nerozebíratelných spojení. Jelikož je zde absence přídavného materiálu, dochází k ochuzování legujících prvků ze základního antikorozního materiálu 17 240. Tento aspekt se může projevit především ve vzniku bodové koroze mezi základními materiály. Rozsah vzniku bodové koroze je patrný z obr. 37 A.

B) Charakterem svarového spoje po bodovém svařování je svarová čočka obou základních materiálů. Pevnostní limit daného spoje je dán velikostí svaru a promíšením základních materiálů. Ovlivnit pevnost tohoto spoje může převážně postupující koroze na rozhraní obou materiálů v oblasti volného styku ocelových plechů.

6.5 Měření mikrotvrdosti v TOO a tahová zkouška

Mikrotvrdost je měřena z důvodu zjištění tvrdosti svaru a jeho okolí. Výhodou měření mikrotvrdosti je její ukazatelnost strukturálních fází daného materiálu. Vliv na tvrdost svaru a jeho okolí má použitý přídavný a svařovaný materiál a teplo přivedené do svaru. Pro měření mikrotvrdosti svaru, TOO a základních materiálů byl

použit Hannemannův mikrotvrdoměr v kombinaci s metalografickým mikroskopem. Měření mikrotvrdosti bylo prováděno na základním materiálu, dále v TOO a ve svaru. Měření bylo provedeno na 5 vzorcích. Každý vzorek a oblast byla měřena dvakrát. Naměřené hodnoty byly zprůměrovány a zaneseny do grafu. Výsledek měření průběhu mikrotvrdosti je zobrazen na obr. 41.



Obr. 41 Průběh mikrotvrdosti svarových spojů

Měření mikrotvrdosti přechodového spoje mezi základními mat. 11 321 a 17 240 prokázalo zvýšenou tvrdost v přechodu základního mat. do svaru. Největší tvrdosti přechodových struktur dosáhla metoda TIG. Dá se předpokládat, že tyto přechody budou křehké a náchylné k praskání.

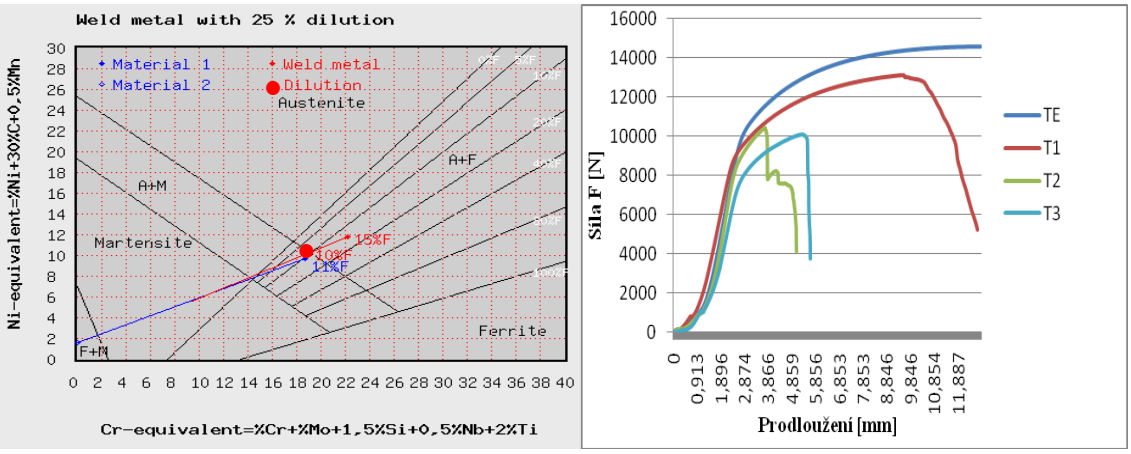
7 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTÁLNÍ ČÁSTI

Pro komplexní vyhodnocení experimentální části diplomové práce, zaměřené na tvorbu přechodových svarových spojů uhlíkové oceli 11 321 a korozivzdorné oceli 17 240, vytvořených běžnými metodami TIG, MIG, MMA a odporovým bodovým svařováním, bylo využito statické zkoušky tahem, Schaefflerova diagramu a již získaných výsledků z metalografického zkoumání svaru a měření mikrotvrdosti svaru a TOO.

7.1 TIG

Svaření základních materiálů met. TIG za použití přídavného materiálu ER 308 Lsi probíhalo bez potíží. Tavení homogenních materiálů probíhalo rovnoměrně. Svarová

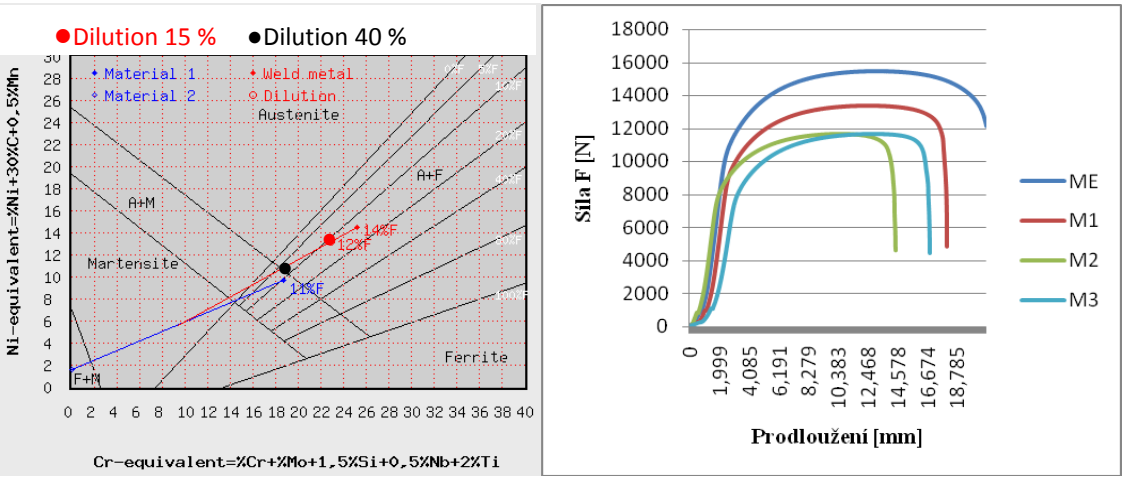
lázeň nevykazovala zpěňovaní strusky ani rozstřik taveniny do okolí svaru. Tvorba svarové housenky byla charakteristická pro svařování základních materiálů. Z výsledků metalografického zkoumání je patrná nižší korozní odolnost přechodové struktury svaru a základního materiálu 11 321. Tato skutečnost se projevila po podrobení svaru účinkům solné mlhy, kde koroze silně napadla přechodovou oblast (obr. 36). Nižší korozní odolnost přechodu je způsobena velkým promísením svarového kovu a základního materiálu. Vysoké promísení svarového kovu a základního materiálu je pro tuto metodu typické a může dosahovat až 100 %. Ovšem pro svařování homogenních materiálů na bázi (A-F) je zapotřebí menší promísení. Vhodnost použití přídavného materiálu je ověřena v Schaefflerově diagramu na obr. 42. Z tohoto diagramu vyplývá, že použití mat. ER 308 Lsi není vhodné z důvodu vzniku struktur A+M a to už i při minimálním možném promísení 25 %, které umožňuje metoda TIG. U svarů se dá předpokládat zvýšený podíl struktur A+M z důvodu promísení okolo 50 %. Výskyt těchto struktur potvrzuje i vysoká mikrotvrdost přechodu svarového kovu do základního mat. 11 321. Tyto svary mohou být křehké a náchylné k praskání. Vyšší podíl martenzitu a rozsáhlá koroze v přechodové oblasti způsobily sníženou pevnost svaru. Snížení pevnosti je patrné z obr. 42. Vzorky podstoupené účinkům solné mlhy po dobu dvou a tří měsíců (T2, T3) vykázaly výrazně sníženou pevnost v oblasti přechodu, kde došlo k přetržení. U ostatních vzorků vždy ztratil pevnost mat. 11 321, nikoliv svar.



Obr. 42 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou TIG

7.2 MIG

Vytváření svarové housenky doprovázel typický jemný rozstřik přídavného materiálu do okolí svaru. Přídavný materiál ER 309 Lsi dobře tvořil pravidelný svarový kov. Účinky solné mlhy odhalily vznik koroze v oblasti zápalu na okraji svarové housenky (obr. 37). Vyšší prohřátí způsobilo úbytek legujících prvků v oblasti kořene svaru, kde lze také pozorovat vznik koroze. Vhodnost použitého přídavného materiálu je zřejmá z Schaefflerova diagramu (obr. 43). Z tohoto diagramu je patrné, že i při maximálním 40% promísení základního materiálu a svarového kovu, které můžeme obvykle dosáhnout u metody MIG, nevzniknou v přechodové oblasti žádné nežádoucí strukturální fáze typu A+M. Průběh pevnosti svaru je zobrazen na obr. 43. Všechny svary podrobené tahové zkoušce nevykázaly výrazně sníženou pevnost. Na průběhu tahové zkoušky je viditelná snižující se pevnost základního mat. 11 321, způsobená postupem koroze při účinků solné mlhy.

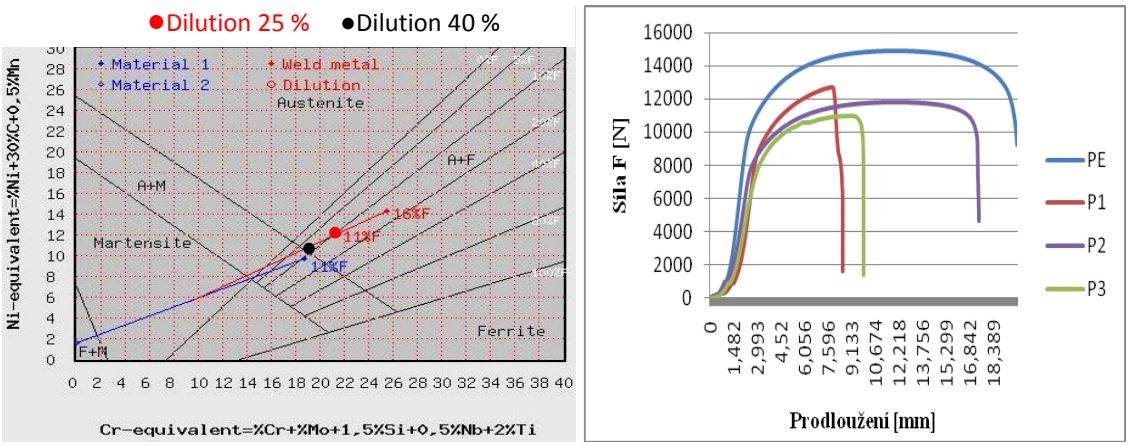


Obr. 43 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MIG

7.3 MMA

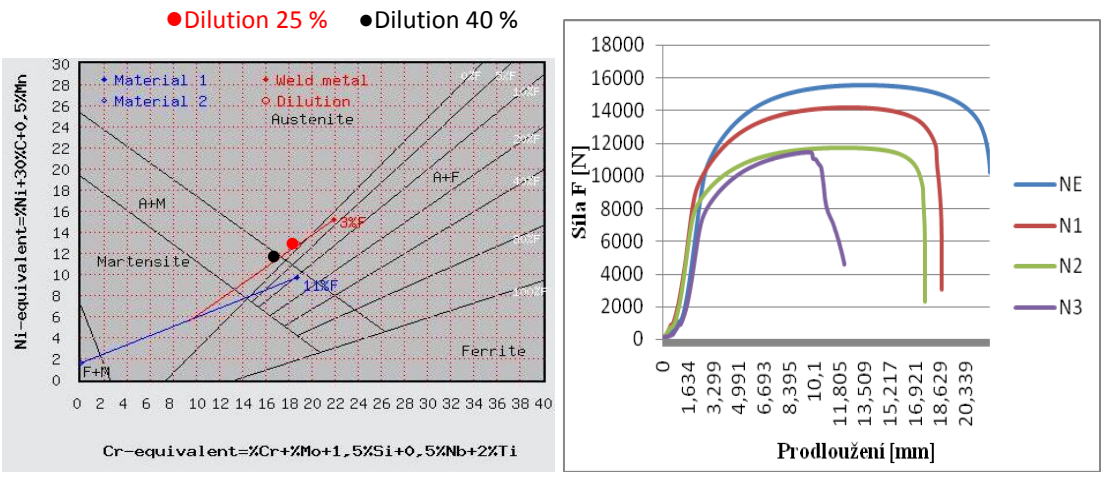
Zápal a průběh hoření u obou druhů elektrod byl standardní. Natavení obou základních materiálů probíhalo rovnoměrně. Obě elektrody vykazují drobné zatavení strusky na okraji svarové housenky. Metalografické rozbory prokázaly dobré přechody svarových kovů do základního materiálu 11 321. (obr. 34). Účinky solné mlhy odhalily u elektrody OK 67.60 postup koroze v zápalu na okraji svarové housenky (obr 39 B). Naopak u elektrody OK 63.85 nebyl zjištěn žádný počátek korozního napadení. Tyto elektrody, vhodné pro svařování materiálů podobného chemického složení, prokázaly

ve výsledném svarovém kovu nejlepší korozní odolnost ze všech použitých přidaných materiálů. Tento výsledek lze přikládat správnému nastavení svařovacího zdroje a zvolené rychlosti posuvu obalené elektrody. Elektroda OK 67.60 byla použita z důvodu jejího určení použití pro svařování korozivzdorných materiálů s běžnými uhlíkovými. Tyto vlastnosti potvrzuje Schaefflerův diagram (obr. 44). Z tohoto diagramu vyplývá možnost použití elektrody OK 67.60 i při svařování s vyššími proudy, které způsobují vyšší promísení základního materiálu se svarovým kovem. U metody MMA může promísení dosáhnout až 40 %. I při takto vysokém promísení se při použití elektrody OK 67.60 ve výsledném svarovém kovu nevyskytnou nežádoucí fáze typu A+M. Tahová zkouška u těchto typů svarů neprokázala sníženou pevnost. Nižší pevnost po dvou a třech měsících v solné mlze vykázal pouze korozí napadený základní materiál 11 321.



Obr. 44 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MMA s elektrodou OK 67.60

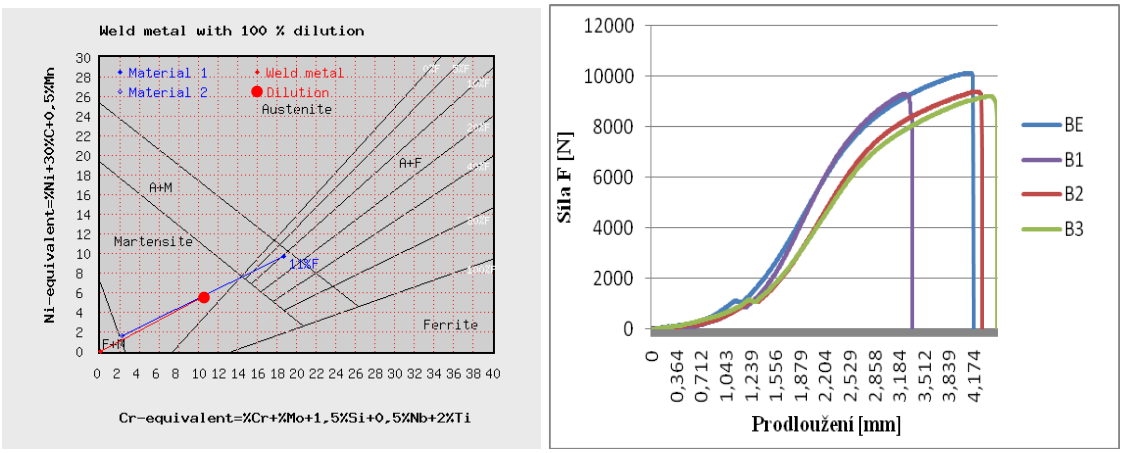
Elektroda 63.85 vykázala dobrou korozní odolnost, ovšem při maximálním možném 40% promísením ve svarovém kovu vzniknou fáze A+M (obr. 45). Volba této elektrody je tedy vhodná pouze za použití nižšího svařovacího proudu. Trhací zkouška pouze prokázala sníženou pevnost materiálu 11 321 z důvodu korozní degradace. Svary vyhotovené touto elektrodou nevykázaly po působení solné mlhy výrazně sníženou pevnost.



Obr. 45 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MMA s elektrodou OK 63.85

7.4 Bodové odporové svařování

Vytváření vzorků bodovým odporovým svařováním mělo standardní průběh. Rozstřik základního materiálu do okolí svaru neměl velkou intenzitu. Výsledky metalografického výbrusu (obr. 35) vykazují dobré spojení obou základních materiálů. Vzorky podrobené účinkům solné mlhy neprokázaly napadení svaru korozí (obr. 40). Ovšem absence přídavného materiálu mohla mít za následek vznik bodové koroze (obr. 40A).



Obr. 46 Schaefflerův diagram promísení a složení svaru základních mat. a tahová zkouška vzorků svařených bodovým odporovým svařováním

Z Schaefflerova diagramu (obr. 46) je zřejmý vznik struktur martenzitu ve svarovém kovu. Dá se předpokládat vyšší křehkost svarového spojení a s tím spojená nižší pevnost svaru. Vzniku těchto struktur při odporovém bodovém svařování se dá předejít pouze přidáním vhodného přídavného materiálu. Vzorky podstoupené účinkům solné mlhy nevykázaly při tahové zkoušce (obr. 46) sníženou pevnost ve svaru, která mohla nastat korozní degradací, ta se ovšem na žádném z vzorků neprokázala.

8 ZÁVĚR

Svařování se díky dnešním technologiím a nástupu automatizace neustále vyvíjí a zdokonaluje. Dnešní výrobní možnosti dovolují vyrábět svařovací zdroje o malých rozměrech s vysokými výkony, což vede k velké mobilitě svářecích zdrojů a možnosti svařování v místech, kde to dříve nebylo možné. Technologický pokrok je velmi viditelný ve škále přídavných materiálů. Moderní výrobní procesy umožňují vyrobit přídavný materiál dle úzkých specifických požadavků. Tyto výhody se projevují v možnosti výroby přídavných materiálů pro heterogenní svarové spoje vytvářené různými technologiemi.

Z výsledků experimentální části vyplývá, že pro vytváření přechodových svarů mezi běžnými uhlíkovými a korozivzdornými materiály, zejména pak materiály 11 321 a 17 240, je důležité zvolit správný přídavný materiál, vhodnou metodu svařování a nastavení optimálních svařovacích podmínek. Použití metody TIG je vhodné pro svařování těchto materiálů pouze při použití nízkých svařovacích proudů a velkých svařovacích rychlostí z důvodu dosažení minimálního promísení základních materiálů. Použití metody TIG s přídavným materiálem ER 308LSi se prokázalo jako nevhodné, z důvodu vzniku nežádaných struktur ve svaru. Metoda WIG s přídavným materiálem ER 309 LSi se jeví jako vhodná alternativa pro vytváření přechodových svarových spojů těchto základních materiálů. Metoda MMA v kombinaci s elektrodou OK 67.60, určenou pro svařování uhlíkových materiálů s antikorozními, je nejvhodnější kombinací pro vytváření těchto spojů. V experimentální části sice toto spojení vykázalo počátek koroze v okraji zatavení svarové housenky do základního materiálu, ale této korozi je možné zabránit nastavením svařovacího zdroje na nižší svařovací proud. Elektroda 63.85 prokázala výborné antikorozní schopnosti z důvodu optimálního nastavení svařovacího zdroje. Nevýhodou této elektrody, při svařování těchto materiálů, je možný vznik nežádaných strukturálních fází při vyšším promísení základního materiálu s přídavným. Bodové svařování je možné použít pro tyto materiály pouze tam, kde není vyžadována zaručená pevnost z důvodu vzniku martenzitické struktury ve svaru. Všechny použité metody tavného svařování v experimentální části je tedy možné využít v praxi pouze se správně zvoleným přídavným materiálem a vhodně nastaveným svařovacím zdrojem.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. KOUKAL J., SCHWARZ D., HAJDÍK J. *Materiály a jejich svařitelnost.* 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o, 2009. 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
2. NEUMANN H., Teorie svařování a pájení. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. 167 s. ISBN 978-80-7494-171-9.
3. KOUKAL J., ZMYDLENÝ T., Svařování I. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. 133 s. ISBN 80-248-0870-6.
4. SEJČ P., BENKO B., GONDÁR E., Vybrané technológie - Zváranie a príbuzné procesy. 1. vyd. Bratislava: STU, 2006. 125 s ISBN 80-227-2490-4.
5. BARTÁK J., Svařování kovů v praxi: materiály, výpočty, technologie, požadavky na jakost, bezpečnost práce. Praha: Dashöfer, 2008. 525 s. ISBN 1803-2834.
6. CUNAT P., PONT J., *Svařování korozivzdorných ocelí.* 1. vyd. Lucembursko: Euro inox, 2007. 38 s. ISBN 978-2-879997-177-3
7. MINAŘÍK V., Přehled metod svařování. 3. vyd. Ostrava: ZEROSS, c2011. 85 s. ISBN 978-80-86698-18-2.
8. MINAŘÍK V., Obloukové svařování. 3. vyd. Praha: Scientia, 2007. 241 s. ISBN 978-80-86960-28-9.
9. AMBROŽ O., *Technologie svařování*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2005. 393 s. ISBN80-85771-81-0.
10. KOVAŘÍK R., ČERNÝ F., Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 186 s. ISBN 80-7082-697-5.
11. MINAŘÍK V., Základní kurz svařování metodou 311. 3., aktualiz. vyd. Ostrava: ZEROSS, c2012. 155 s. ISBN 978-80-86698-20-5.
12. MINAŘÍK V., Obloukové svařování. 3. vyd. Praha: Scientia, 2007. 241 s. ISBN 978-80-86960-28-9.
13. DOLEJSKÝ T., Učebnice pro základní kurz svařování tavící se elektrodou: (MIG/MAG svařování). vyd. 2. Ostrava: Zeross, 2013. 144 s.
14. BARTOŠ J., Učebnice pro základní kurz svařování metodou 111 3. vyd. Ostrava: ZEROSS, c2012. 145 s. ISBN 978-80-86698-17-5.
15. BALEJ Z., KUDĚLKA V., OPLETAL J., *Základní kurz svařování metodou 141 se souborem testových otázek.* 2. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2009. 160 s. ISBN 80-866698-12-2.
16. Kol. autorů ESAB, *Technická příručka, svařování nerezavějících ocelí.* Vamberk: ESAB 2012
17. GEARY D., MILLER R. *Welding*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2011. xvi,

328 s. ISBN 978-0-07-176387-5.

18. OPLETAL J., KUDĚLKA V., BALEJ Z., ŠTĚRBÁČEK J. *Bezpečností předpisy při svařování elektrickým obloukem.* Brno: Tesydo, s.r.o, 2011. 46 s. ISBN 80-903386-6-6.

19. ROUČKA J., Metalurgie neželezných slitin. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 148s. ISBN 80-214-2790-6.

INTERNETOVÉ ZDROJE

1. Vscht. *Metalografie I*. [online] [cit. 2. 2. 2013]. Dostupné na: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Běžná uhlíková ocel *(www.zptrade.cz)*..... 12

Obr. 2 Korozivzdorný materiál (*www.elektra.sk*)..... 14

Obr. 3 Rozdělení základních metod svařování a jejich označení dle ČSN EN ISO 4063 *(Koukal J., Zmydlený T., 2009)*..... 15

Obr. 4 Tvar svarové lázně *(Neumann H., 2014, Koukal J., Zmydlený T., 2009)*..... 15

Obr. 5 Obvyklý podíl základního materiálu ve svarovém kovu (*Koukal J., Zmydlený T., 2009*)..... 16

Obr. 6 Průběh tvrdosti v TOO svarového spoje dle HV 10 (*Koukal J., Zmydlený T., 2009*)..... 17

Obr. 7 Svařování plamenem *(Minařík V., 2012)*..... 18

Obr. 8 Druhy kyslíko-acetylenového plamene (*www.svarbazar.cz*)..... 19

Obr. 9 Schéma svařování ručního obloukového svařování obalenou elektrodou (*www.uvp3d.cz*)..... 20

Obr. 10 Svařovací zdroje (*www.safework.cz*)..... 23

Obr. 11 Schéma svařování tavící se elektrodou v ochranném plynu (*www.automig.cz*) 24

Obr. 12 Schéma svařování netavící se elektrodou v ochranném plynu (*www.automig.cz*)..... 26

Obr. 13 Vliv přímé a nepřímé polarity u metody 14 (Balej Z., a kol., 2009)..... 27

Obr. 14 Svařování pod tavidlem (*www.konstrukce.cz*)..... 28

Obr. 15 Svařování plazmou (*www.schinkmann.cz*)..... 29

Obr. 16 Svařování výbuchem (*www.schinkmann.cz*)..... 31

Obr. 17 Svařování třením (*www.controlengcesko.com, www.m.loupak.cz*)..... 32

Obr. 18 Hlavní druhy odporového svařování (*Barták J., Bednář B., 2008*)..... 33

Obr. 19 Heterogenní svar materiálu na bázi (F-A) 36
Obr. 20 Svařenec met. 111 před nadělením na potřebný rozměr 37
Obr. 21 Základní struktura materiálu 11 321 38
Obr. 22 Základní struktura materiálu 17 240 39
Obr. 23 Struktura přídavného mat. Kowax ER 308 LSi 40
Obr. 24 Svarová housenka TIG základních materiálů 11 321 a 17 240 40
Obr. 25 Struktura přídavného mat. Nevinox ER 309 LSi 42
Obr. 26 Svarová housenka MIG základních materiálů 11 321 a 17 240 42
Obr. 27 Struktura přídavného mat. ESAB 67.60 44
Obr. 28 Struktura přídavného mat. ESAB OK 63.85 44
Obr. 29 1) Svarová housenka met. MMA s využitím elektrody OK 67.60 2) s využitím elektrody OK 63.85 základních materiálů 11 321 a 17 240 45
Obr. 30 Bodový svar mezi základními materiály 46
Obr. 31 Schéma postupu přípravy vzorků na pozorování pod metalografickým mikroskopem (*www.vscht.cz*) 46
Obr. 32 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou TIG 47
Obr. 33 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou Mag 47
Obr. 34 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného metodou MMA 48
Obr. 35 Metalografický rozbor přechodu základního materiálu do svarového kovu vytvořeného bodovým svařováním 49
Obr. 36 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (TIG) 50
Obr. 37 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MIG) 51
Obr. 38 Postup koroze na základním mat. 11 321 51
Obr. 39 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MMA) 52
Obr. 40 Degradace TOO korozí svarového kovu s uhlíkovou ocelí (MMA) 53
Obr. 41 Průběh mikrotvrdosti svarových spojů 54
Obr. 42 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou TIG 55
Obr. 43 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MIG 56

Obr. 44 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MMA s elektrodou OK 67.60 57
Obr. 45 Schaefflerův diagram promísení a složení svarového kovu se základním mat. a tahová zkouška vzorků svařených metodou MMA s elektrodou OK 63.85 58
Obr. 46 Schaefflerův diagram promísení a složení svaru základních mat. a tahová zkouška vzorků svařených bodovým odporovým svařováním 58

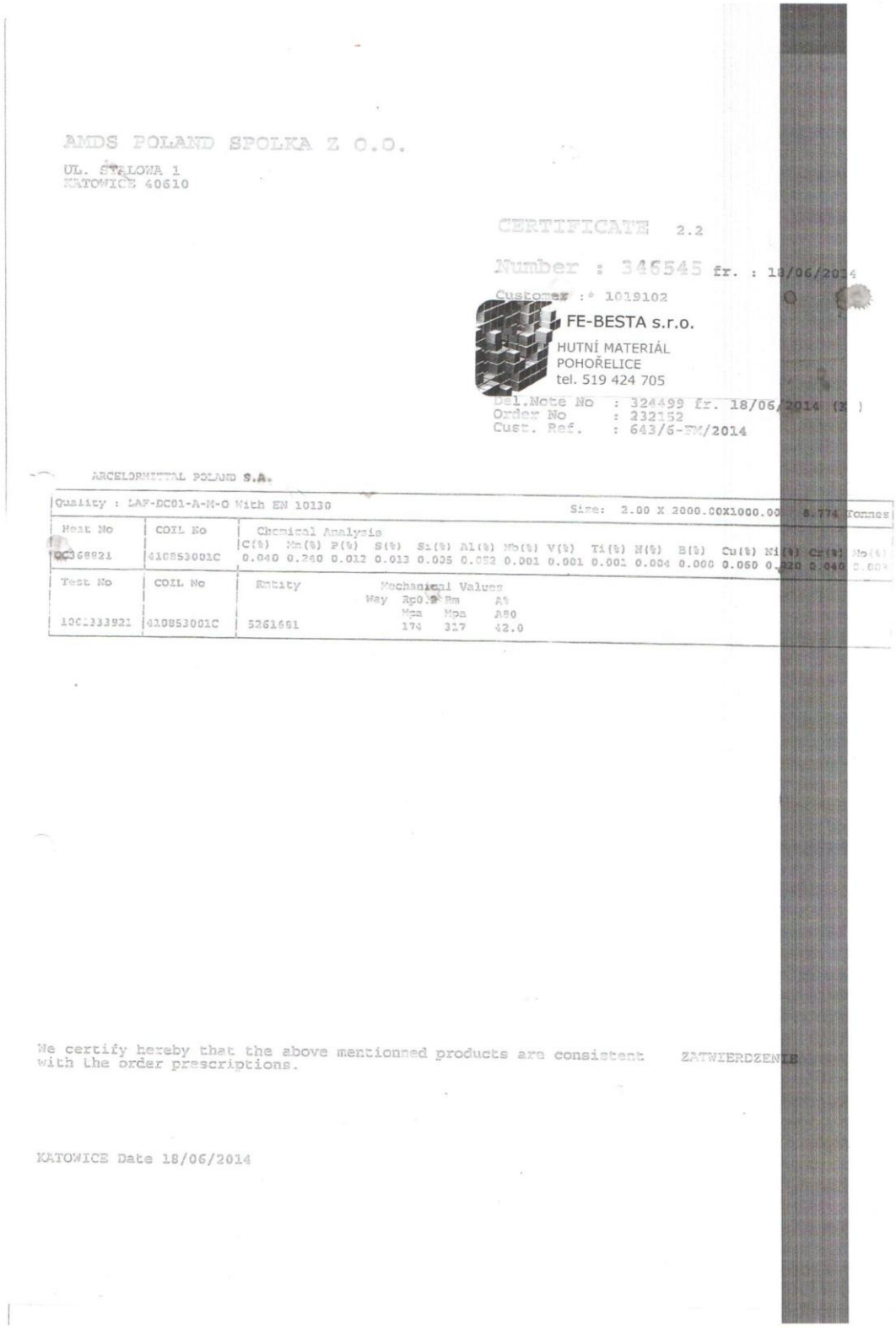
11 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 *Třída a charakteristika ocelí (www.ferona.cz)* 11
Tab. 2 *Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku (Koukal J., Zmydlený T., 2009*) 11
Tab. 3 *Typy austenitických ocelí (Koukal J. a kol., 2009)* 13
Tab. 4 Značení obalů elektrod (Bartoš J., 2012) 22
Tab. 5 Doporučené hodnoty měrného tlaku pro svařování metodou 48 (*Barták J., Bednář B., 2008*) 31
Tab. 6 Typické hodnoty promísení základního materiálu s přídavným pro dané svařovací metody (ESAB Svařování nerezavějících ocelí tech. příručka) 36
Tab. 7 Chem. složení materiálu ČSN 11 321 (Atest materiálu č. 346545) 38
Tab. 8 Chem. složení materiálu ČSN 17 240 (Atest materiálu č. 1474372) 38
Tab. 9 Technické parametry svař. invertoru Fronius TransTig 1700 39
Tab. 10 Chemické složení přídavného materiálu Kowax ER 308 LSi 40
Tab. 11 Technické parametry invertorového zdroje Alfain ALF 250 MAJOR-44 AXE 41
Tab. 12 Chemické složení přídavného materiálu Nevinox ER 309 LSi 42
Tab. 13 Technické parametry svařovacího zdroje Fronius TRANSPOCKET 1400 43
Tab. 14 Chemické složení přídavného materiálu ESAB OK 67.60 43
Tab. 15 Chemické složení přídavného materiálu ESAB OK 63.85 44
Tab. 16 Technické parametry svařovacího kleští TECNA 7903 45

12 PŘÍLOHY

1. Atest materiálu 11 371 č. 346545
2. Atest materiálu 17 240 č. 1474372
3. Atest přídavného materiálu OK 67.60

12.1 Atest materiálu 11 371 č. 346545



AMDS POLAND SPOLKA Z O.O.

UL. STALOWA 1
KATOWICE 40610

CERTIFICATE 2.2

Number : 346545 fr. : 18/06/2014

Customer : 1019102

FE-BESTA s.r.o.
HUTNÍ MATERIÁL
POHOŘELICE
tel. 519 424 705

Del.Note No : 324499 fr. 18/06/2014 (X)
Order No : 232152
Cust. Ref. : 643/6-ZM/2014

ARCELORMITTAL POLAND S.A.

Quality : LAF-DC01-A-N-O With EN 10130 Size: 2.00 X 2000.00X1000.00 8.774 Tonnes

Heat No	COIL No	Chemical Analysis
		C(%) Mn(%) P(%) S(%) Si(%) Al(%) Nb(%) V(%) Ti(%) N(%) B(%) Cu(%) Ni(%) Cr(%) Mo(%)
0C368921	4108S3001C	0.040 0.240 0.012 0.013 0.035 0.052 0.001 0.001 0.001 0.004 0.000 0.050 0.020 0.040 0.000

Test No	COIL No	Entity	Mechanical Values		
			Way	Rp0.2 Mpa	Rm Mpa	A% A80
10C1333921	4108S3001C	5261691		174	317	42.0

We certify hereby that the above mentionned products are consistent with the order prescriptions.

ZATWIERDZENIE

KATOWICE Date 18/06/2014

12.2 Atest materiálu 17 240 č. 1474372

06468M14

Acciai Speciali Terni S.p.A. con Unico Socio con unico socio

Viale B. Brin, 218 - 05100 Terni - Italia 12254021

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO DA IGQ SECONDO ISO 9001

SPECIFICA / SPECIFICATION / ANFORDERUNGEN: EN 10088-4 EN 10088-2 / EN 10028-7 AD2000W2 / ASTM A 240

CERTIFICATO DI COLLAUDO EN 10204/3.1 1474372 PAG. 1/ 1

INSPECTION CERTIFICATE
CERTIFICATE DE RECEPTION
ABNAHMEPRÜFZEUGNIS B*

ORDINE CLIENTE N° / CUSTOMER ORDER N° / COMMANDE DU CLIENT N° / BESTELLUNG Nr: OAS 7 / 2014

CLIENTE / CUSTOMER / CLIENT / BESTELLER: ITALINOX, SPOL. SRO. ZDEBRADSKA 58/59 RICANY -JAZLOVICE 25101 REPUBBLICA CECA

ORDINE INTERNO N° / INTERNAL ORDER N° / COMMANDE INT. N° / WERKS Nr: 8E140121 ITALINOX, SPOL. SRO. ZDEBRADSKA 58/59 RICANY -JAZLOVICE

AVV. DI SPEDIZ. N° / SHIPPING NOTICE N° / AVIS D'EXPEDITION N° / VERSANDANZEIGE Nr: 00058586 25101 REPUBBLICA CECA

PRODOTTO / PRODUCT / PRODUIT / PRÜFGEGENSTAND: STAINLESS STEEL COILS

Acciai Speciali Terni S.p.A. con Unico Socio — TÜV 926/961278/01

COMPOSIZIONE CHIMICA / CHEMICAL COMPOSITION / COMPOSITION CHIMIQUE / CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

N° ROTOLO / COIL N° / N° BOBINE / BAND Nr.	N° COLATA / HEAT N° / N° COULÉE / SCHMELZE Nr.	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo	% N	% Ti	% Cu	%	%	TIPO D'ACCIAIO / STEEL TYPE / TYPE D'ACIER / MARKENBEZEICHNUNG
721904	0441762	.024	1.68	.320	.026	.001	18.06	8.080	.220	.062		.240			1.4301 1.4307 304 304L

VERWECHSLUNGSPRUFUNG, OBERFLACHEN - UND MASSKONTROLLE : OHNE BEANSTANDUNG

80 CENTRO DI FINITURA P.F. TERN COMPLIES WITH P.E.D.97/23/EC

TRATT. TERMICO - RICOTTURA DI SOLUBILIZZ.: 1050^C ARIA - ACQUA NEBULIZZATA - ACQUA
HEAT TREATMENT - ANNEALING: AIR - WATER SPRAY - WATER COOLING
TRAITEMENT - THERMIQUE - HYPERTREMPE: AIR - EAU ATOMISEE - EAU
WARMEBEHANDLUNG - ABSCHRECKEN: °C/LUFT - SPRÜHWASSER - WASSER

PROCESSO DI ELABORAZIONE: E + AOD + CC
STEELMAKING PROCESS / PROCEDE D'ELABORATION / ERSCHMELZUNGSART

IL MATERIALE È RESISTENTE ALLA CORROSIONE INTERGRANULARE SECONDO: EN ISO 3651-2
THE MATERIAL IS RESISTANT TO INTERCRYSTALLINE CORROSION IN DACCORDANCE WITH:
LE MATERIEL EST RESISTANT A LA CORROSION INTERGRANULAIR SELON:
DIE OBENGENANNTE SCHMELZE IST BESTÄNDIG GEGEN INTERKRISTALLINE KORROSION GEMÄSS:

RISULTATI DELLE PROVE / TEST RESULTS / RESULTATS DES ESSAIS / ERGEBNIS DER PRÜFUNGEN (1 N/mm² = 1 M Pa)

N° COLLO / PACKAGE N° / N° COLIS / KISTEN Nr.	N° ROTOLO / COIL N° / N° BOBINE / BAND Nr.	DIMENSIONI / DIMENSIONS / ABMESSUNGEN mm	N° PEZZI / PIECES N° / N° PIECES / STÜCKZAHL	FINITURA / FINISH / FINITION / AUSFÜHRG	PESO / WEIGHT / POIDS / GEWICHT Kg.	PRELIEVO (1)	SENSO (2)	Rp 0.2% N/mm²	Rp 1% N/mm²	Rm N/mm²	A % Lo = 2"	A % Lo = 80	A % Lo = A5	DUREZZA / HARDNESS / DURETE / HARTE HR B	H	PIEGA / BEND / PLIAGE / FALTVERSUCH α = 180°	GRANO / GRAIN / KORN (size)
CARATTERISTICHE RICHIESTE - REQUIRED CHARACTERISTICS - CHARACTERISTIQUES REQUISES - ANFORDERUNGEN								≥ 235	≥ 265	550-750	≥	≥ 40	≥	≤	≤		
C50131	721904	1.50X1000.0	1	2B	7770	T	T	258	295	611	57.9	59.1		80.0			
C50131						C	T	250	287	600	59.3	60.5		77.0			

MOD. 2115 - 33855189

* Secondo accordi con il TÜV Bayern (Febbraio 1965) la firma del Technische Überwachung Organisation può essere evitata ai sensi della lettera del TÜV Bayern del 8 Agosto 1969.
* In accordance with TÜV Bayern (February 1965) the signature of the Technische Überwachungs Organisation can be avoided in force of the letter of the TÜV Bayern on August 8 1969.
* D'accord avec TÜV / Bayern (Février 1965) la signature du Technische Überwachungs Organisation peut être évitée sur la base de la lettre TÜV / Bayern dateé 8 Août 1969.
* Im Einvernehmen mit dem TÜV / Bayern (Februar 1965) Auf eine Gegenzeichnung durch die zuständige Technische Überwachungs Organisation kann auf Grund des Schreibens des TÜV Bayern vom 8-8-1969 verzichtet werden.

1) Sampling - Location - Ort: T = Testa - Top - Tete - Kopf; C = Coda - Bottom - Pied - Fuss
2) Sens - Direction - Richtung: T = Trasversale - Transverse - Traverse - Quer; L = Longitudinale - Longitudinal - Long - Längs

Certifichiamo che i prodotti sopra elencati sono conformi alle prescrizioni dell'ordine.
We certify that products listed above comply with order requirements.
Nous certifions que les produits ci-dessus énumerés sont conformes aux prescriptions de la commande.
Wir bestaetigen, dass die Lieferung den Vereinbarungen der Bestellannahme entspricht.

TIMBRO DEL RESPONSABILE INCARICATO: INSPECTOR STAMP: MARQUE DU RESPONSABLE CHARGE: STEMPEL DES WERKSSACHVERSTÄNDIGEN:

MARCATURE / MARKING / MARQUAGE / KENNZEICHNUNG: Wnr. - Type; Heat n° - Coil N°; Thickness - Finish

COMPLIES WITH ED 2000/53/EC

Acciai Speciali Terni S.p.A. con Unico Socio
FIRMA DEL RESPONSABILE INCARICATO / INSPECTOR SIGNATURE / SIGNATURE DU RESPONSABLE CHARGE / UNTERSCHRIFT DES WERKSSACHVERSTÄNDIGEN

Certificato emesso automaticamente

TERNI, li 12-09-2014 L. ROTINI

12.3 Atest přídavného materiálu OK 67.60

ESAB

ATEST ČSN EN 10204 - 2.2

TEST REPORT

Odběratel Customer:	Chobola s.r.o.
	Řipská 20a
627 00	Brno

Obj.č./Your order No: Zakáz.č./Our ref.:

Číslo výrobku Item no	Název výrobku Description	Množství Quantity	Jedn. Unit	LOT
6760202030	OK 67.60 2	1	kg	SB417141

Chemické složení/Chemical composition (%)

	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni
Svarový kov Weld metal	0,025	0,82	0,79	0,019	0,012	24,2	13,1
	Mo	Cu					
	0,14	0,15					

Zkouška tahem/Tensile test

	Temp °C	Rp 0,2 N/mm 2	Re H N/mm 2	Rm N/mm 2	A5 %
Svarový kov Weld metal	+20	470		580	32

Zkouška rázem/Impact test

	Temp °C	J	Temp °C	J
Svarový kov Weld metal	+20	50		
	-10	40		

Doplňující data/Additional data

Ferit [%] 17 ;

SFA/AWS A5.4: E309L-17

EN ISO 3581-A: E 23 12 L R 3 2, CSA W48: E309L-17, Werkstoffnummer: 1.4332

Comments: Interpass temp. max. 150 °C. Hardness weld metal 200-225 HV

ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu
Smetanovo nábř 334, 517 54 Vamberk
IČ 25268023 DIČ: CZ 25268023

Datum/Date: 11.06.2015

Adresa/Address	IČO	Telefon/Phone	Fax
ESAB VAMBERK, s.r.o., člen koncernu	**25268023**	**+420 494 501 476**	**+420 494 501 423**

Smetanovo nábřeží 334
517 54 VAMBERK
CZECH REPUBLIC

Zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Hradci Králové, oddíl C, vložka 11464.