



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
PEDAGOGICKÁ FAKULTA

Katedra aplikované fyziky a techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Svařování metodou 131 (MIG) podle ČSN EN ISO 4063
se zaměřením na analýzu a komparaci obvodového svařování
hliníkových trubek strojním svařováním na svařovacím automatu
BKM/BRP oproti ručnímu poloautomatickému svařování**

Vypracoval: Radovan Vik

Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

České Budějovice 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Svařování metodou 131 (MIG) podle ČSN EN ISO 4063 se zaměřením na analýzu a komparaci obvodového svařování hliníkových trubek strojním svařováním na svařovacím automatu BKM/BRP oproti ručnímu poloautomatickému svařování“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele

i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce.

Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Boršově nad Vltavou dne 31. 3. 2014

.....
Radovan Vík

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu PaedDr. Bedřichu Veselému,
Ph.D.

za cenné rady, připomínky, ochotu a metodické vedení práce a Ing. Pavlu
Kálalovi

za vedení a odborné rady při zpracování bakalářské práce.

Anotace

V úvodní části jsou definovány základní pojmy ve svařování hliníku a jeho slitin a s tím souvisejících norem. V další části práce je popis ručního svařování hliníku plamenem, obloukem a dalšími speciálními metodami svařování.

Následuje praktická část zaměřená na defekty vznikající při svařování hliníku, jejich zjišťování a vyhodnocování.

Závěrečná část pojednává o poloautomatickém a automatickém svařování hliníku a porovnává obě metody.

Klíčová slova: svařovací metoda 131 (MIG), strojní svařování, ruční svařování, svar, hliník, WPS, WPQR.

Abstrakt

In the first part there are defined the basic terms used in the welding of aluminium and its alloys with the respect of related standards. The next part of the thesis described the hand welding of aluminium by the flame welding, arc welding and other special welding methods.

The practical part focuses on the defects generated during welding of aluminium and its detection and interpretation.

The final part deals with the semi-automatic and automatic welding of aluminium and compares both methods.

Keywords: welding method 131 (MIG) welding machine, manual welding, welding, aluminum, WPS, WPQR.

Obsah

PEDAGOGICKÁ FAKULTA	1
Úvod.....	9
1. Cíle	11
2. Stručná historie tavného svařování kovů	12
3. Hliník a jeho slitiny.....	15
3.1 Vlastnosti hliníku	15
3.2 Značení a rozdělení hliníku a jeho slitin do skupin.....	15
3.2.1 Číselné značení.....	16
3.3 Označení stavu hliníku a jeho slitin	17
3.4 Příklady materiálů používaných v silnoproudé elektrotechnice	17
3.5 Svařitelnost hliníku a jeho slitin.....	18
4. Základní pojmy v oblasti svařování	20
4.1 Definice svařování	20
4.2 Terminologie podle normy ČSN 05 0000.....	21
4.3 Technika svařování a polohy svařování.....	21
4.3.1 Technika svařování.....	21
4.3.2 Polohy svařování	22
4.4 WPS – Welding procedure specification	23
4.5 Označování svarů na výkresech	23
5. Svařovací metody.....	26
5.1 Svařování tavné.....	27
5.1.1 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111).....	27
5.1.2 Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování (135).....	29
5.1.3 Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu; WIG, TIG svařování (141).....	30
5.1.4 Kyslíko-acetylenové svařování (311).....	32
5.2 Speciální svařovací metody.....	34
5.2.1 Laserové svařování (52)	34
5.3 Svařování tlakové.....	35
5.3.1 Odporové svařování (2).....	35
5.3.2 Tlakové svařování za studena (48)	37
5.4 Nové procesy ve svařování hliníku a jeho slitin	37
5.4.1 Astrio SuperPulze™.....	37
5.4.2 Třecí svařování promíšením (Friction stir welding – FSW)	38
6. Požadavky na přípravu svarových ploch.....	40

6.1	Dělení materiálu	40
6.2	Příprava tvaru a rozměru svarových ploch.....	40
6.3	Očištění a odmaštění svarových ploch.....	41
6.4	Přehřev ploch ke svařování	41
7	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování (131).....	43
7.1	Princip svařovací metody MIG	43
7.2	Svařovací zdroje pro metodu MIG.....	44
7.2.1	Základní technické parametry svařovacích zdrojů.....	44
7.2.2	Svařovací usměrňovače	46
7.2.3	Svařovací invertorové zdroje.....	47
7.2.4	Digitální svařovací zdroje.....	47
7.2.5	Synenergetický režim svařování	47
7.2.6	Typy svařovacích zdrojů	49
7.2.7	System PUSH PULL	49
7.3	Podavače drátu	50
7.4	Svařovací hořáky.....	50
7.5	Řízení průběhu svařování spínačem na svařovacím hořáku	51
7.5.1	Režimy a vhodnost jejich použití	51
7.6	Části oblouku a přenos kovu v oblouku.....	53
7.6.1	Elektrický oblouk	53
7.6.2	Zapálení oblouku	53
7.6.3	Části oblouku.....	54
7.6.4	Přenos kovu v oblouku	56
7.6.5	Synchro-Puls	57
7.7	Ochranné plyny	58
7.7.1	Argon.....	59
7.7.2	Helium	59
7.7.3	Směsné plyny	60
7.7.4	Lahve a zásobníky na ochranné plyny	60
7.8	Přídavné materiály	61
7.9	Parametry svařování.....	63
7.10	Technika ručního svařování metodou 131 (MIG).....	63
7.11	Stručný popis svařovacího automatu BOKI BKM/BRP.....	64
8	Defekty svarových spojů - vady svarů.....	67
8.1	Nejčastější vady vyskytující se při svařování hliníku	67
8.2	Pórovitost svarů – vznik bublin vodíku ve svaru	67

8.2.1	Praskavost svarů za tepla – horké trhliny	68
8.2.2	Praskavost svarů za studena	68
8.3	Další problémy při svařování hliníku.....	69
9	Zkoušky svarů	70
9.1	Vizuální kontrola.....	70
9.2	Kapilární zkouška.....	71
9.3	Zkouška tlakem	71
9.4	Zkoušky prozařováním.....	72
9.5	Příčná zkouška tahem.....	72
10	Kvalifikace svářečů, ochrana zdraví při svařování hliníku.....	73
10.1	Označení zkoušek.....	73
10.2	Ochrana zdraví při svařování hliníku.....	73
11	Porovnání poloautomatického a automatického svařování.....	75
11.1	Příprava jednotlivých dílů ke svaření.....	75
11.2	Svařování	76
11.3	Ruční poloautomatické svařování	77
11.4	Tabulky s naměřenými časy pro ruční poloautomatické svařování.....	77
11.4.1	Strojní automatické svařování	79
11.4.2	Strojní automatické svařování	80
11.4.3	Zhodnocení časové náročnosti a kvality obou metod svařování.....	83
11.4.4	Zhodnocení kvality svarů pro metodu svařování 131-MIG strojní automatické svařování.....	84
11.4.5	Zkušební vzorky pro tahovou zkoušku.....	85
11.4.6	Zkušební vzorky pro makro.....	85
11.4.7	Zkouška prozáření	86
	Závěr	87
	Použité zdroje informací	89

Úvod

Téma této bakalářské práce nebylo zvoleno náhodně. Společnost EGE, spol. s r. o., kde pracuji, instalovala v roce 2012 svařovací automat značky BOKI BKM/BRP od firmy BOKI Robotizované systémy spol. s r. o. (dále jen BOKI), za účelem nahrazení ručního svařování strojním svařováním příčných obvodových svarů hliníkových trubek, které se doposud provádělo pomocí poloautomatického svařování metodou 131 (MIG) podle ČSN EN ISO 4063. Před pořízením svařovacího automatu bylo sledováno několik požadavků, proč daný stroj zakoupit a začlenit do výroby, která není sériová, ale spíše opakovaná. Jedním z nejdůležitějších požadavků bylo nahrazení lidské práce strojem a s tím i snaha o zvýšení produktivity práce a kvality příčných obvodových svarů u hliníkových trubek. Tyto hliníkové trubky se používají jako vodiče elektrického proudu v řádu [kA] až desítek [kA] u zapouzdřených, segregovaných i neselegovaných generátorových vývodů na elektrárnách. Základním požadavkem na příčný obvodový svar vodiče je jeho provedení bez vad. Z hlediska funkce výrobku se tak zamezí nadměrnému zahřívání vodiče v místech svarových spojů a tím i eliminaci větších proudových ztrát, než těch, které jsou dány odporem materiálu.

Dalším důležitým důvodem bylo předejít zpochybňování kvality svarů zákazníkem při jeho vizuální kontrole během přebírání výrobku. Na jednom kusu vodiče často pracují dva i více svářeči a povrch jednotlivých svarů je často odlišný, někdy i velmi výrazně. Zákazník, ne vždy odborník na svařování, se pak často dotazuje, zda jsou všechny sváry provedeny ve stejné kvalitě.

Uvedení svařovacího automatu do provozu a jeho nasazení do výrobního procesu předcházelo mnoho měsíců ověřování různých pracovních postupů, hledání vhodného nastavení stroje, svařovacích parametrů, včetně zapracování obsluhy.

Tato bakalářská práce se kromě popisu metody 131 (MIG) věnuje i pohledu na historii svařování, na základní pojmy a terminologii ve svařování, na přípravu základního materiálu před vlastním svařováním. Dále je vysvětleno rozdělení hliníku a jeho slitin do skupin podle chemického složení, s důrazem na materiály používané v energetice a stručně je také přiblížena problematika kvality svařování, defekty a zkoušky svarů, kvalifikace a ochrana zdraví svářečů.

Samotné kapitoly jsou věnovány i popisu vybraných metod svařování, přičemž podrobně je především analyzována svařovací metoda 131 (MIG) se zaměřením na svařování hliníku a jeho slitin. V souvislosti s touto metodou jsou popsány používané svařovací zdroje, přídavné materiály, technické plyny i technika svařování a další.

V posledních kapitolách je popsáno strojní svařování metodou 131 (MIG), jeho porovnání se svařováním ručním.

1. Cíle

Cílem bakalářské práce je zpracovat zadané téma z hlediska naplnění cílů teoretických, pedagogických i praktických:

- a) teoretickým cílem je podání souhrnu informací, tj. rešerší z dostupné odborné literatury, provedení její analýzy a systematicky pak získané informace utřídit tak, aby jednotlivé kapitoly podaly ucelený pohled na problematiku svařování hliníku a jeho slitin. Hlavní důraz je dán na popis svařovací metody 131 (MIG).
- b) pedagogický cíl sleduje použitelnost bakalářské práce ve výuce. Cílem je dané téma podat názorně, systematicky, srozumitelně a respektovat logickou návaznost jednotlivých kapitol. Originální literatura je odborně správná, často je však srozumitelná pouze odborníkům zabývajících se danou oblastí svařování a tím velmi obtížně použitelná pro vyučovací praxi.
- c) praktickým cílem je porovnat časovou náročnost a kvalitu provedení svarů ručním poloautomatickým a strojním automatickým způsobem svařování, případně navrhnout opatření pro praxi. Dále pak opatřit vzorky pro technologické zkoušky a získat certifikaci svařovacího postupu metodou 131 (MIG) podle ČSN EN ISO 4063.

2 Stručná historie tavného svařování kovů

Historicky nelze doložit, kdy člověk začal spojovat ocel pomocí svařování kovářským způsobem. Používaly ho různé kultury již ve starověku, nezávisle na sobě před 4000 – 5000 lety. Tato metoda byla až do 19. století jediným známým způsobem spojování kovů. Právě v tomto století došlo k objevení elektrického obloukového svařování a následně i svařování plamenem. Pro průmyslové využití svařování plamenem mělo rozhodující vliv zavedení průmyslové výroby karbidu vápnicku (acetyleny) v roce 1892. Následný výzkum H. Le Chateliera vedl k vývoji a vzniku kyslíko-acetylenového plamene. Předtím se pro toto svařování používal vodíko-vzduchový a vodíko-kyslíkový plamen. Kyslíko-acetylenový plamen se používá dodnes, velký rozvoj v této oblasti svařování byl zaznamenán během první světové války. V meziválečném období pak tato metoda byla hlavní technologií v oblasti svařování používaná tehdejším průmyslem. Rozhodující objev, který později vedl ke vzniku technologie obloukového svařování, uskutečnil Sir Humphry Davy, který v roce 1801 objevil, že oblouk vzniká v elektrickém obvodu s vysokým napětím při přiblížení svou vodičů k sobě. Patent na svařování elektrickým obloukem obdržel v roce 1865 Wilde, který pět let předtím spojil pomocí této metody dva kusy oceli. Auguste de Méritens použil svařování uhlíkovou metodou poprvé v roce 1881 a rozvinuli ji svými pracemi Nicolas de Bernados a Stanislav Olzsewski, kteří v roce 1885 získali na tuto metodu patent. Při svařování svářeč držel přídavný materiál ve formě tyče v ruce. Během svařování docházelo k nauhličování svarového spoje, který navíc nebyl ochráněn přístupů okolní atmosféry. Svary byly tvrdé a křehké, ale přesto se tato metoda již uplatnila v průmyslovém použití, například ve Spojených státech amerických při opravách lokomotiv.

Další pokrok v této oblasti zaznamenali N. G. Slavjanov a Charles L. Coffin. Oba dva v roce 1889 nezávisle na sobě patentovali způsob svařování pomocí odtavujících se kovové elektrody, kterou nahradili elektrodu uhlíkovou. Elektrody se vyráběly ze švédské oceli. Svary ovšem byly opět velmi křehké, neboť svarový kov absorboval z okolní atmosféry kyslík, dusík a vodík. Bylo zřejmé, že tomuto nežádoucímu jevu je nutné zabránit.

Vývoj tedy směřoval k obalovaným elektrodám. První obalovanou elektrodu vynalezl Oskar Kjellberg v roce 1907. Jeho elektrody sice stabilizovaly oblouk, ale ochrannou funkci neplnily. Tuto funkci splnily až elektrody objevené A. P. Strohmengerem, který v této oblasti získal patent v roce 1912 ve Spojených státech amerických. První elektrody byly velice drahé.

Během první světové války technologie svařování zaznamenala velký rozvoj, díky obrovskému zvýšení výroby vojenské i dopravní techniky a nutnosti jejich oprav. Elektroda s papírovým obalem z roku 1919 zajistila dostatečnou houževnatost svarového kovu. Strusku nebylo nutno následně odstraňovat. Používala se ke svařování mostů, ale i tlakových nádob. Svařování tím začíná konkurovat technologii odlévání. Původně odlévané díly se vyrábějí již jako svařence. Metoda průtlačného lisování, zavedená v roce 1927 znamenala rychlý rozvoj výroby obalovaných elektrod, vedla ke snížení jejich cen a k rozšíření sortimentu elektrod.

Svařování obalovanou elektrodou se rychle rozšířilo především ve výrobě lodí, tlakových nádob a mostních konstrukcí. V 50. letech minulého století se vyvinuly tlustě obalené elektrody nazývané vysokovýtěžové. V obalu byla příměs kovového prášku, který zvýšil obsah kovu odtaveného z elektrody. Následně byly vyvinuty velmi tlusté obalené elektrody, takzvané hlubokozávarové. Bez nutnosti úprav svarových ploch se s nimi svařovaly tlusté ocelové plechy.

Od 30. let minulého století se rozvíjela mechanizace svařování a to zejména ve Spojených státech amerických a v tehdejší Sovětské svazu. Po různých pokusech se ustálila technologie, kdy holý drát se kontinuálně dodával do svaru a zároveň byl svár chráněn silnou vrstvou zrnitého tavidla. Tato metoda se používala u dlouhých svarů, například při svařování švových trubek a během 2. světové války při výrobě vojenské techniky.

Letecký průmysl používal hliník, hořčík a jejich slitiny a od 30. let minulého se století se velmi rychle rozvíjel. Bylo nutné řešit svařování těchto kovů. Obalované elektrody nezabránily reakci svarového kovu s okolní atmosférou a svary nevyhovovaly z hlediska mechanických vlastností. Byla vyvinuta technologie označená TIG-Tungsten Inert Gas (anglický název), neboli WIG-Wolfram Inert Gas (německý název), kde oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Ochranná atmosféra okolo svarové lázně byla vytvořena pomocí inertního plynu helia, argonu, popř. jejich směsí. U původního svařovacího zdroje na stejnosměrný proud se odtavovala wolframová elektroda do svarového

kovu. Použitím svařovacích zdrojů na střídavý proud s vysokofrekvenčním zapalováním se tento nedostatek odstranil. Tyto svařovací zdroje na střídavý proud následně vedly ke vzniku technologie plazmového svařování.

Metoda TIG/WIG neumožnila produktivním způsobem svařování hliníku a jeho slitin, zejména pak svařenců o větších tloušťkách materiálu (od 15 [mm] výše) kvůli nutnosti jejich přehřevu. V roce 1953 byla vyvinuta metoda MIG (metal Inert Gas), kde oblouk hoří mezi kovovou tavící se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu helia, argonu, popř. jejich směsí. Technologie MIG umožnila efektivně svařovat nejen hliníkové materiály větších tloušťek (až do 50 [mm]), ale i různé druhy nelegované i legované oceli.

Výroba inertních plynů je finančně nákladná. Z tohoto důvodu se u svařování oceli využil patent J. C. Lincolna z roku 1918, který navrhl jako ochranu při svařování používat oxid uhličitý. Oxid uhličitý se za teplot nad 700 [°C] rozkládá na oxid uhelnatý a volný kyslík, který oxiduje a aktivně působí nasvarový kov. Technologie se proto označuje MAG (Metal Active Gas).

V dalších letech se metody MIG i MAG rozvíjely a modernizovaly. Vyvinuly se různé způsoby přenosu kapek svarového kovu do tavné lázně (zkratový, sprchový, pulzní), zdokonalily se způsoby podávání drátu (vícekladkové, push-pull) a v neposlední řadě došlo i k automatizaci a robotizaci obou metod. [11]

3 Hliník a jeho slitiny

3.1 Vlastnosti hliníku

Hliník je řazen mezi lehké kovy, jeho měrná hmotnost je 2700 [kgm³]. Barvu má stříbřitou a povrch je lesklý. Krystalickou mřížku má krychlovou, plošně středěnou, čímž vyniká výbornou tvárností za studena. Čistý hliník má pevnost v tahu asi 70 [MPa] a teplotu tavení asi 660 [°C].

Základní hliníkovou rudou používanou pro výrobu hliníku je bauxit. Nejčastěji se hliník vyrábí elektrolytickou redukcí Al₂O₃ z tekuté soli do tekutého kovu. [12]

Hliník je rovněž známý svou výbornou elektrickou i tepelnou vodivostí, což předurčuje jeho využití v elektrotechnice a energetice. Hliník o čistotě 99,5 % se nazývá technický hliník, který je základním materiálem používaným na zapouzdřené, segregované i nesegregované vodiče sloužící k vývodu elektrické energie mezi generátorem a blokovým transformátorem na elektrárnách.

Lepší elektrické vodivosti dosahuje jen několik kovů, např. měď, která je však mnohem těžší a dražší.

Další důležitou vlastností hliníku je jeho schopnost vytvářet na svém povrchu vrstvu oxidu Al₂O₃. Tato vrstva je přibližně 0,01 [μm] silná, elektricky nevodivá, její teplota tavení je 2250 [°C] a měrná hmotnost 3960 [kgm⁻³]. Hliník díky této schopnosti, která se nazývá pasivace, získává výbornou odolnost proti korozi.

Při svařování je tato vlastnost hliníku nežádoucí a vrstvu oxidu Al₂O₃ je nutné ze svařovaných ploch předem odstranit.

Z hlediska svařování je rovněž nevýhodná velká tepelná vodivost hliníku.[12]

3.2 Značení a rozdělení hliníku a jeho slitin do skupin

Mechanické vlastnosti hliníku lze zlepšit přidáním legujících prvků do čistého hliníku. Vznikají tak slitiny hliníku, většinou tuhé roztoky s omezenou rozpustností.

Slitiny jsou:

- a) slévárenské
- b) tvářené (nevytvrzované slitiny na bázi Al-Mg, Al – Mg a vytvrzované slitiny na bázi AlMgSi, AlZnMg a AlCuMg). [12]

Značení hliníku a jeho slitin (numerický systém značení a značení podle chemických symbolů) je dáno normou ČSN EN 573-1, 2, 3.

Základní značka podle této normy je: **EN Ax – XXXX**

- a) A = aluminium
- b) x = druhé písmeno označuje jednu ze čtyř skupin
 - W = tvářené výrobky
 - B = nelegované nebo slitinové ingoty pro přetavení
 - C = odlitky
 - M = předslitiny
- c) XXXX = číselné značení hliníku a jeho slitin, které jsou rozděleny do jednotlivých tříd podle chemického složení a označují se: 1xxx až 9xxx

První číslice, jak je naznačeno dále v textu, značí hlavní legující prvek. Podrobněji jsou popsány skupiny 1xxx, 5xxx a 6xxx, tedy slitiny, které se používají při výrobě zapouzdřených vodičů a jejich příslušenství. U ostatních skupin je vždy uveden hlavní legující prvek.

3.2.1 Číselné značení

- 1xxx bez legujících prvků, obsah hliníku více než 99 %). Tato skupina představuje technický hliník. Pokud druhá číslice je 0, jedná se o nelegovaný hliník. Materiály této skupiny mají vysokou tepelnou a elektrickou vodivost a výbornou odolnost proti korozi. Svařitelnost a obrobitelnost materiálu je dobrá, mechanické vlastnosti, především pevnost, je horší. Hlavními nečistotami jsou Fe (železo) a Si (křemík).
- 2xxx (slitina Al – Cu)
- 3xxx (slitina Al-Mn)
- 4xxx (slitina Al-Si)
- 5xxx (slitina Al-Mg), hlavním legujícím prvkem je hořčík s manganem. Hořčík zpevňuje hliník podstatně více než mangan a navíc ho lze přidávat do slitin hliníku ve větším množství než mangan. Materiály této skupiny jsou dobře svařitelné, obrobitelné a odolné proti korozi, středně až vysoko pevné slitiny hliníku.

- 6xxx (slitina Al-Mg-Si), hlavním legujícím prvkem je hořčík a křemík a to v přibližně stejném množství. Materiály této skupiny jsou obtížně svařitelné, dobře obrobitelné a středně pevné slitiny hliníku.
- 7xxx (slitina Al-Zn)
- 8xxx (slitina A – ostatní prvky, např. Li)
- 9xxx (neobsazeno)

3.3 Označení stavu hliníku a jeho slitin

Stav materiálu se značí písmeny za číselným značením. Podle potřeby následují za písmeny jedna nebo více číslic, které označují úpravy nebo zpracování.

- F (stav z výroby, bez požadavku na mechanické vlastnosti)
- O (úprava žíháním naměkko)
- H (úprava tvrzením, první číslice za písmenem označuje způsob dosažení tvrdosti, druhá stupeň tvrdosti, třetí číslice vyjadřuje zvláštní výrobní postup)
- T (tepelně zpracováno, tvrdost byla dosažena tepelným zpracováním, číslice za písmenem označují specifický sled zpracování)

Význam první a druhé číslice za písmeny je podrobně popsán v normě ČSN EN 515.

3.4 Příklady materiálů používaných v silnoproudé elektrotechnice

Všechny materiály jsou vyráběny podle normy ČSN EN 573.

Zapouzdřené vodiče se převážně vyrábějí z materiálu EN AW-1050A H24 (Al99,5F11).

Připojovací a zemnicí patky zapouzdřených vodičů se vyrábí ze slitinových materiálů a to z důvodu jejich vyšší pevnosti:

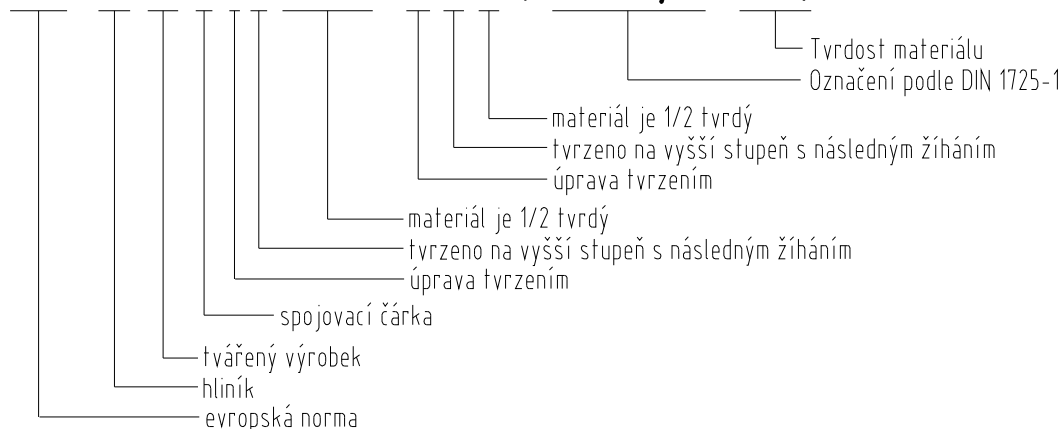
- EN AW 6060 T66 (AlMgSi0,5)
- EN AW 6101B T7 (E-AlMgSi0,5)

Jako konstrukční materiál se převážně používají slitiny hliníku:

- –
- EN AW 5754 H111 (AlMg3W19)
- EN AW 5083 H111 (AlMg4,5Mn)

S každou dodávkou objednaného materiálu je povinností výrobce doložit osvědčení o jakosti a kvalitě dodávaného množství ve formě inspekčního certifikátu, jehož obsahem je mimo jiné množství dodaného materiálu, chemický rozbor a výsledky mechanických zkoušek. (Příloha č. 1 a č. 2)

EN AW-1050A H24 (Al99,5 F11)



Obrázek 1 Rozbor značení materiálu podle ČSN EN 573, převzato a upraveno z [13]

Označení		Složení%										
EN AW	DIN	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	V	Ti	Ostatní-celkem
1050A	Al99,5	≤ 0,25	≤ 0,40	≤ 0,05	≤ 0,05	≤ 0,05	-	-	≤ 0,07	-	≤ 0,05	-
5083	AlMg4,5Mn	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,10	0,40-1,0	4,0-4,9	0,05-0,25	-	≤ 0,25	-	≤ 0,15	≤ 0,15
5754	AlMg3	≤ 0,40	≤ 0,40	≤ 0,10	≤ 0,50	2,6-3,6	≤ 0,30	-	≤ 0,20	-	≤ 0,15	≤ 0,15
6060	AlMgSi0,5	0,30-0,60	0,10-0,30	≤ 0,10	≤ 0,10	0,35-0,6	≤ 0,05	-	≤ 0,15	-	≤ 0,10	≤ 0,15
6101B	E-AlMgSi0,5	0,30-0,60	0,10-0,30	≤ 0,05	0,10-0,30	-	-	0,10	-	-	-	≤ 0,10

Obrázek 2 Chemické složení materiálů používaných pro výrobu zapouzdřených vodičů podle ČSN EN 573, převzato a upraveno z [13]

3.5 Svařitelnost hliníku a jeho slitin

Je komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost daného kovu pro výrobu svařence při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje.

Při svařování obecně největší problém představuje vrstva oxidu Al_2O_3 , která brání dokonalému natavení svarových ploch.

Svařitelnost čistého hliníku (Al99,5%) je dobrá a během jeho svařování nenastávají žádné obtíže. U slitin hliníku je situace odlišná a o jejich svařitelnosti rozhoduje druh legujících prvků.

Nelze zde ovšem provést žádný přepočítání jako je tomu například u ocelí, kde podle známého chemického složení dané oceli a procentuálního zastoupení uhlíku a legujících prvků můžeme stanovit její svařitelnost výpočtem ekvivalentního obsahu uhlíku podle následujícího vzorce:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

Obsah uhlíku u zaručeně svařitelné oceli nemá přesáhnout 0,22%. Ostatní prvky se přepočítávají na jejich ekvivalent vůči uhlíku. Např. obsah manganu ovlivňuje svařitelnost ocelí 6x méně než obsah uhlíku apod. Celkový obsah ekvivalentního uhlíku má být do 0,5%.

Slitiny hliníku se dají charakterizovat jako dobře svařitelné, obtížně svařitelné a nesvařitelné. Při stanovení svařitelnosti je zásadní znát druh legujícího prvku, dále kombinace těchto prvků a jejich poměrné zastoupení v konkrétní slitině hliníku.

Materiály na bázi hořčíku jsou většinou dobře svařitelné. Materiály na bázi křemíku jsou většinou svařitelné obtížně. Slitiny, v nichž jsou zastoupeny oba tyto prvky současně, jsou opět svařitelné obtížně. Obecně lze ale konstatovat, že slitiny na bázi hořčíku a křemíku jsou vhodné ke svařování.

Slitiny s obsahem zinku a mědi jsou svařitelné pouze obtížně a mnohé jsou dokonce nesvařitelné. Ke svařování jsou tedy nevhodné.

Při svařování slitin hliníku je vždy dobré znát jejich složení, a pokud je to možné dbát doporučení výrobce za jakých podmínek danou slitinu svařovat.

V případě slitin neznámého složení, např. při opravách, nemůže být zaručeno, že provedený svar bude kvalitní a bude vyhovovat požadovaným nárokům na danou součást. Zde je pak vždy rozhodující zkušenost svářeče, který svar za daných podmínek provádí, co nejlépe zvolený přídatný materiál a pečlivá příprava svarových ploch před svařováním.

4 Základní pojmy v oblasti svařování

4.1 Definice svařování

Nejčastěji používaná spojení součástí v technických odvětvích jsou rozebíratelná a nerozebíratelná. Svarové spoje patří do skupiny nerozebíratelných spojení, které se provádí pomocí soustředěného tepla nebo tlaku. U některých technologií svařování se používá současného působení tepla i tlaku. Zároveň se používají nebo nepoužívají přídavné materiály, stejného či podobného chemického složení jako spojované materiály.

Proces svařování tedy vyžaduje tzv. aktivaci procesu, tzn. dodání energie, a to tepelné, mechanické, radiační. Nejčastěji se používá ohřevu a deformace, tedy vhodné teploty a tlaku.

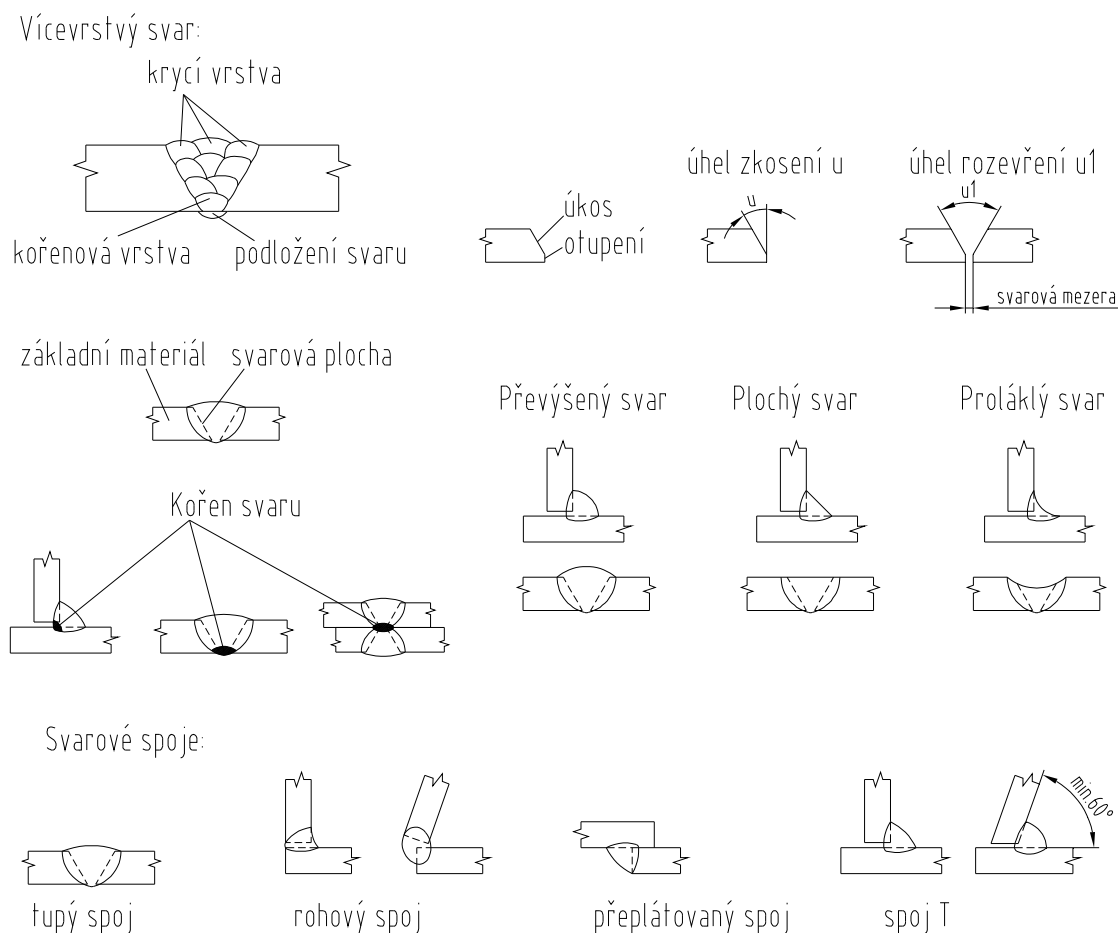
V reálných podmínkách pak nastávají tři možnosti, za kterých dojde k vytvoření svarového spoje:

- a) tavné svařování – přivádí se pouze teplo a spojení obou materiálů se dosahuje přes roztavený svarový kov
- b) svařování tlakem – přivádí se teplo a tlak a spojení obou materiálů se dosahuje plastickou deformací, často však je používáno částečné natavení spojovaných materiálů
- c) svařování tlakem za studena – přivádí se pouze tlak a ke spojení dochází v tuhém stavu spojovaných materiálů.

Každý druh svařování odpovídá speciálnímu nastavení tepla, tlaku a času. Ukazuje se však, že teplo zde hraje významnou roli a že při svařování tlakem dojde k přeměně určitého podílu mechanické energie na tepelnou energii. [1]

4.2 Terminologie podle normy ČSN 05 0000

Pojmy používané při svařování zapouzdřených vodičů lze nejlépe vysvětlit pomocí jednoduchých skic viz obrázek č. 3. (následující terminologie je univerzální a používá se obecně ve svařování, nejen u zapouzdřených vodičů)



Obrázek 3 Vybrané pojmy terminologie podle ČSN 05 000, převzato a upraveno z [7]

4.3 Technika svařování a polohy svařování

4.3.1 Technika svařování

„Technika svařování charakterizuje polohu a pohyby svařovacího hořáku a přídavného materiálu vzhledem ke svařovanému materiálu“. (MALINA Z., NĚMA M., Základní kurz svařování ZK 141 W 21, ZEROSS - svářečské nakladatelství, Ostrava: 2004, str. 40)

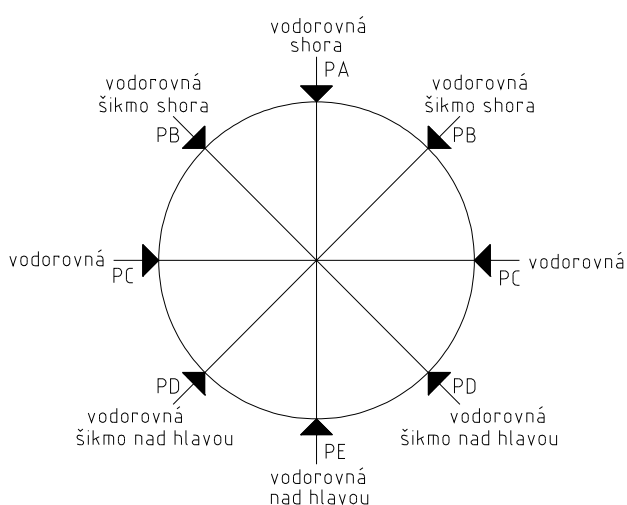
Rozeznáváme postup svařování:

- vpřed, kdy se přídavný materiál pohybuje před hořákem
- postup svařování vzad, kdy se materiál pohybuje za hořákem [4]

4.3.2 Polohy svařování

Polohy svařování se označují podle normy ČSN EN ISO 6947. Slouží pro označení způsobu postavení svářeče. Nejčastěji se používají v technologických postupech svařování.

Nejvhodnější pro popis požadované polohy je používat symboly. Přehledně a názorně lze polohy svařování zobrazit pomocí tzv. orientačního kruhu:



Obrázek 4 Svařovací polohy - orientační kruh, převzato a upraveno z [6]

Na následující fotografii je svářeč pracující v poloze PC.



Obrázek 5 Svařovací poloha PC, vlastní zdroj

4.4 WPS – Welding procedure specification

Název i zkratka je převzata z anglické jazykové mutace. WPS je technologický postup, který podrobně popisuje podmínky pro zhotovení svaru. Součástí WPS je obrázek se znázorněním úpravy a vzhladu svarových ploch a rozměrů svaru.

Při výrobě zapouzdřených vodičů rozlišujeme WPS na dílenské a montážní. Dílenskými WPS se řídí svářeči při zhotovování výrobku na dílně. Podle montážních WPS se pak zhotovují svary montážní, kdy je nutno pomocí spojovacích dílů spojit jednotlivé zapouzdřené vodiče k sobě v jeden celek.

V obou případech je WPS nedílnou součástí výkresové dokumentace. Svářeč je povinen se seznámit před započítím svařování jak s výkresem, tak i s příslušnou WPS a řídit se oběma dokumenty.

Příklad výrobního výkresu a navazujících WPS. (viz příloha č. 3, č. 4 a č. 5)

4.5 Označování svarů na výkresech

Svary na výkresech se značí podle ČSN EN ISO 22553 (2553). Spoj má být tímto označením plně definován. Symbol základní značky vychází z úpravy svarových ploch. Označení se skládá ze základní značky, která se podle potřeby zpřesňuje:

- a) doplňkovou značkou
- b) rozměrem spoje
- c) dalšími doplňujícími údaji

Tabulka základních značek, které se používají u zapouzdřených vodičů:

Pojmenování spoje	Značka svaru
I - svar	
V - svar	∨
1/2V - svar	✓
Y - svar	Y
1/2Y - svar	Y
Koutový svar	△

Obrázek 6 Tabulka základních značek, převzato a upraveno z [4]

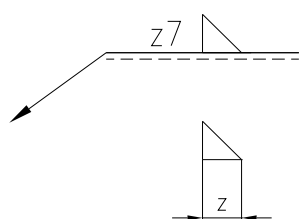
Tabulka doplňujících značek, které se používají u zapouzdřených vodičů:

Tvar povrchu spoje	Značka
Plochý	—
Převýšený	⤴
Podložený	⤵
Přivařená podložka	[M]
Odnímatelná podložka	[MR]

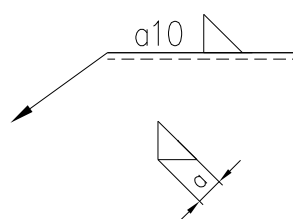
Obrázek 7 Tabulka doplňujících značek, převzato a upraveno z [4]

U koutového svaru jsou dvě možnosti jeho označování:

Jmenovitá výška svaru z



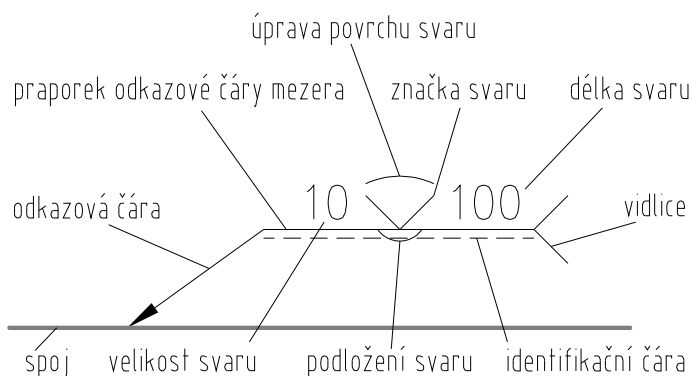
Jmenovitá tloušťka svaru a



Platí: $z=0,7a$

Obrázek 8 Příklady označení koutového svaru, převzato a upraveno z [4]

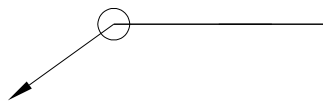
Hlavní rozměr svaru je uveden před značku (vlevo od značky), délka svaru se uvádí za značkou (vpravo od značky). Do vidlice se uvádí např. označení svařovací metody:



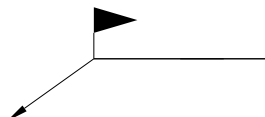
Obrázek 9 Kótování svaru, převzato a upraveno z [4]

U zapouzdřených vodičů se uplatňuje pravidlo, že velikost svaru musí být stejná, jako je tloušťka základního materiálu, nebo větší.

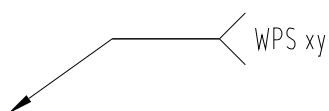
Doplňkové značky upřesňují další údaje o svaru. Jedná se zejména o označení obvodového a montážního svaru a u zapouzdřených vodičů se do vidlice uvádí WPS, která plně popisuje způsob provedení svaru.



Obrázek 10 Obvodový svar, vlastní zdroj



Obrázek 11 Montážní svar, vlastní zdroj



Obrázek 12 Jeden z možných způsobů označení svařovací metody, vlastní zdroj

V příloze č. 6 je uvedeno typické značení svarů používaných při výrobě zapouzdřených vodičů. Na obrázku je část výkresu Vodiče nuly s vyznačením svarů, včetně označení ploch, které jsou nutné opracovat úkosováním před svařováním.

Ve výkresu je uvedena tabulka s identifikací přídavného materiálu, kterým je nutné jednotlivé díly svařit k sobě a potvrzení z oddělení technologie svařování o správném označení svarů (texty ve výkresu byly záměrně zvětšena a upraveny za účelem jejich lepší čitelnosti).

5 Svařovací metody

Svařovací metody dělíme podle různých hledisek, např. ruční a mechanizované. Nejčastěji používáme dělení podle toho, jakým způsobem dosáhneme svarového spoje. První skupina zahrnuje svařování tavné, při kterém je rozhodující roztavení svarových ploch. Druhou skupinou rozumíme svařování tlakové, kde je rozhodující pro svaření stlačení svařovaných ploch. [1]

Přehled všech metod je uveden v normě ČSN EN ISO 4063. V závorce je uvedeno číselné označení metody podle dané normy:

- svařování elektrickým obloukem (1)
- ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)
- pod tavidlem (12)
- obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře (13)
- obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování (131)
- obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování (135)
- obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (14)
- obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu; WIG, TIG svařování (141)
- svařování plazmové (15)
- odporové svařování (2)
- plamenové svařování (3)
- kyslíko-acetylenové svařování (11)
- tlakové svařování (4)
- ultrazvukové svařování (41)
- třecí svařování (42)
- třecí svařování promíšením (43)
- svařování velkou mechanickou energií (44)
- tlakové svařování za studena (48)
- svařování svazkem paprsků (5)
- elektronové svařování (51)
- laserové svařování (52)

- ostatní způsoby svařování (7)
- aluminotermické svařování (71)
- elektrotruskové svařování (72)
- indukční svařování (74) [5]

5.1 Svařování tavné

5.1.1 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111)

Zdrojem tepla je elektrický oblouk a hoří mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Použité elektrody jsou většinou obalené. Elektrody se dělí do skupin podle druhu základního materiálu. Používají se pro svařování nelegovaných nízkouhlíkových ocelí až po vysokolegované a speciální oceli. Dále se elektrodou svařují barevné kovy a šedá litina.

Elektrodou lze svařovat ve všech polohách, svařovací proud se používá v rozsahu 10-500[A], napětí do 50[V]. Elektrody se dále rozdělují podle tloušťky a podle chemického složení obalu.

Druh obalu elektrody:

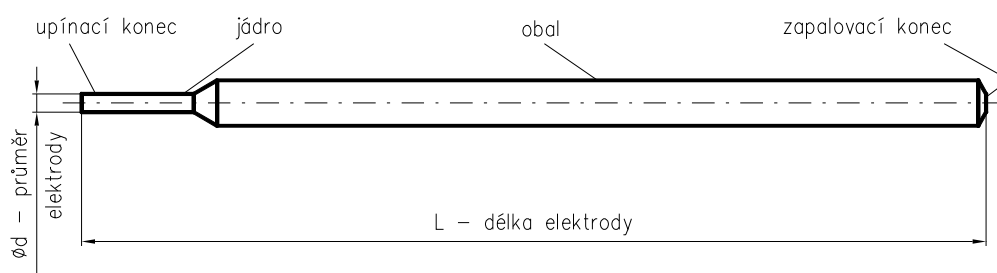
- rutilový
- kyselý
- bazický
- speciální

Obal elektrody plní následující funkce:

- **plynotvorná**, kdy kouř a plyny vznikající při hoření zabraňují přístupu kyslíku a dusíku. Elektrody obsahují např. magnezit, celulózu. Při hoření vzniká CO₂.
- **ionizační**, kdy díky obalu dochází k usnadnění zapalování a klidnému hoření oblouku. Zajišťují ho soli alkalických kovů, např. sodíku, vápníku aj.
- **metalurgická**, kdy dochází k zabránění vypálení některých prvků např. manganu, chromu, křemíku

Obal může obsahovat feroslitiny jako fero-mangan, -vanad, -chrom, -silicium aj. Obal může obsahovat i železný prášek, který pak napomáhá zvýšení produktivity práce.

Struska zabraňuje rychlému chladnutí svaru a přístupu vzduchu ke svarovému kovu. [2]



Obrázek 13 Obalovaná elektroda, převzato a upraveno z [1]

Elektrody je nutné skladovat v originálních obalech a rozbalit je vždy těsně před použitím. Snažíme se vždy co nejvíce zabránit přístupu vzdušné vlhkosti k elektrodě. Dnes jsou většinou elektrody baleny tzv. vakuově. Vlhké elektrody se nesmí používat z důvodu snížení kvality svaru, kdy do svarového kovu se dostává vodík. Nejvíce se vliv vlhkosti projevuje u bazických elektrod. Navlhlé elektrody se musí před použitím vysušit v peci. Rozbalené elektrody během svařování mají být uchovávány v sušičce na elektrody. [2]

Svařovací zdroje vyrábí elektrický proud střídavý nebo stejnosměrný. Pro výrobu střídavého elektrického proudu se používají jednofázové transformátory se vzduchovým chlazením. Konstrukci představuje ocelové jádro s primárním a sekundárním vinutím. Regulace svařovacího proudu je různá, nejvíce se používá změna magnetického rozptylu. Stejnosměrný proud se vyrábí pomocí točivé, rotační svářečky, nebo netočivé svářečky, usměrňovače.

Rotační zdroj tvoří motor (často třífázový asynchronní s kotvou na krátko), dynamo, které vyrábí stejnosměrný proud a ventilátor. Neznámější svářecí agregát je Triodyn. Usměrňovač usměrňuje střídavé napětí na stejnosměrné a skládá se z transformátoru, usměrňovacích článků a regulátoru svařovacího proudu. [1]

Ruční obloukové svařování se používá v kusové, malosériové výrobě, opravárenství, při montážních pracích.

Svařování hliníku obalenou elektrodou v praxi není rozšířené, používá se při opravách a údržbě. I zde je často nahrazována metodou WIG. Největší problém způsobuje vrstva Al_2O_3 , kterou je nutno těsně před svařováním pečlivě očistit. Elektrody se připojují na kladný pól, používá se tzv. obrácená polarita. Průměr elektrody se volí co největší a svařuje se s velkou tavnou lázní, která umožňuje difundování plynů.

Plyn, který vzniká při hoření elektrody, neposkytuje svaru během svařování dostatečnou ochranu. Svařovacím zdrojem je pak invertor bez dalšího nároku na ochranný plyn. [3]

5.1.2 Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování (135)

Metoda MAG je ve své podstatě shodná s metodou MIG, rozdíl spočívá v použitém ochranném plynu.

Používá se aktivní plyn oxid uhličitý CO_2 , příp. směsné plyny $Ar+CO_2$, $Ar+O_2$, $Ar+CO_2+O_2$. Na rozdíl od inertního plynu vstupuje aktivní plyn do chemických reakcí. Zde se využívá specifických vlastností CO_2 , který se při teplotách nad $700[^\circ C]$ rozkládá na $CO+O$.

Současně dochází k reakcím těchto složek s natavenou kapkou elektrody a povrchem svarové lázně. Tyto reakce mají oxidační a dezoxidační charakter, které mají vliv na tvar oblouku, povrch svarové housenky, přechod svarové housenky do základního materiálu i vnitřní čistotu svaru. [1]

Tato metoda se s výhodou používá při svařování nelegovaných, nízko- i vysokolegovaných ocelí. Předehřev oceli není nutný do tloušťky 25[mm] svařovaného materiálu. Svařence o větší tloušťce se musí předehřívat.

Svařovací zdroje používané pro tuto metodu mohou být rotační, v praxi se především používají svařovací usměřovače a invertorové zdroje.

Přenos kovu v oblouku je:

- zkratový
- kapkový
- pulzní [1]

Příkladem svařovacího zdroje může být agregát PD420 od firmy REHM.

5.1.3 Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu; WIG, TIG svařování (141)

Vznik a hoření elektrického oblouku probíhá mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem. Elektroda, svarová lázeň a okolí svaru je chráněno od okolní atmosféry inertním plynem helia, argonu nebo jejich směsí.

Při svařování se používá:

- střídavý proud pro hliník, hořčík a její slitiny
- stejnosměrný proud pro ocel, měď, titan a jejich slitiny

Svařuje se bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem ve formě drátu, který se přivádí do oblouku většinou ručně. Teplo přivedené do svarové lázně je větší než u metody MIG, proto se při svařování udržuje krátký svařovací oblouk, aby došlo k co nejmenším TOO.

Svařovací zdroje mají strmou charakteristiku, elektronické řízení umožňuje jejich programování a přednastavit různé operace:

- a) dvoutaktní nebo čtyřtaktní svařování
- b) předfuk a dofuk plynu
- c) bezdotykové zapalování oblouku (HF)
- d) možnost připojení dálkového ovládání
- e) elektronické řízení konstantního zapalovacího a svařovacího proudu
- f) náběh proudu při začátku svařování a pokles při ukončení

Zdroje jsou stejnosměrné, často s možností přepínání stejnosměrného a střídavého proudu. [3]

V EGE, spol. s r. o. se používá zdroj MAGIC VALVE MV450, který umožňuje přepínání střídavého proudu na stejnosměrný a to v obou polaritách: DC- (zemnění se musí pak zapojit na opačný pól) a DC+. Tento svařovací zdroj je použitelný i pro svařování obalenou elektrodou, svařovací hořák se nahradí svařovacím držákem.

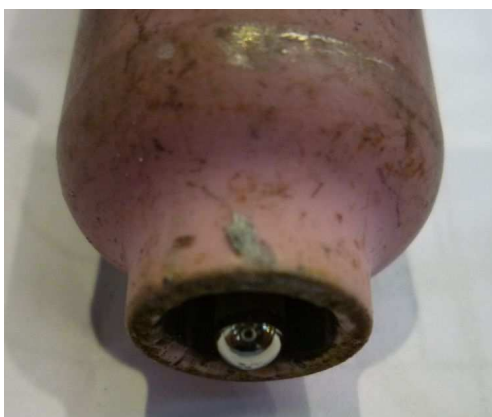
Svařovací hořák slouží k přívodu elektrického proudu k elektrodě, která je uchycena v odpovídající poloze pomocí kleštiny. Dále se hořákem přivádí ochranný plyn, který se usměřňuje pomocí plynové trysky do okolí svaru. Hořáky do 150[A] se chladí přímo procházejícím plynem a mají keramické trysky. Hořáky do 350 až 500[A], které jsou chlazené vodou, mají trysky měděné. [4]



Obrázek 14 Svařovací hořák - metoda WIG, vlastní zdroj

Elektrody jsou vyrobeny z čistého wolframu nebo wolframu s přísadou oxidů thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria a to v obsahu 1 až 4%. Elektrody se vyrábí spékáním, přičemž teplota tavení wolframu je $3380[^\circ\text{C}]$. Přítomné oxidy snižují teplotu elektrody během svařování až o $1000[^\circ\text{C}]$, tím se zvyšuje její životnost, zlepšuje se stabilita a zapalování oblouku. Elektroda s přísadou oxidů zůstává během svařování v pevném stavu, elektroda z čistého wolframu se během svařování částečně odtavuje. Funkční konce elektrod se brousí do tvaru kužele, vrcholový úhel se liší podle použitého proudu. Průměry elektrod jsou od 0,5 do 4[mm]. [4]

Na obrázku č. 14 je vidět konec elektrody zakulacený, která se používá pro svařování hliníku.



Obrázek 15 Tvar konce elektrody pro svařování hliníku a jeho slitin, vlastní zdroj

Metodou WIG lze svařovat ve všech polohách a je používán postup svařování vpřed. Během svařování je nutné dbát na správný sklon hořáku, krátký oblouk, správné vysunutí elektrody. Wolframová elektroda se nesmí dotknout svařovaného materiálu, aby nedošlo k odpadnutí částiček elektrody do svarové lázně a vzniku kovových vměstků, které způsobují znehodnocení svarů.

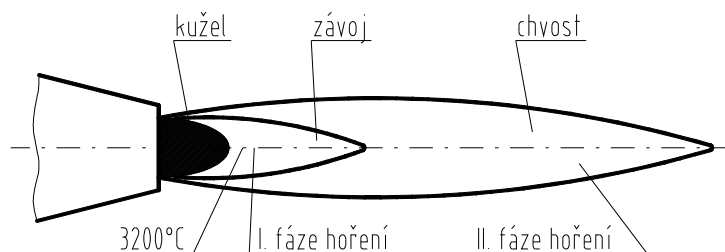
Při svařování hliníku se používá střídavý proud, kdy v kladné půlperiodě (na elektrodě je kladný pól) kladné ionty argonu putují od elektrody k základnímu materiálu a rozrušují vrstvu Al_2O_3 a zároveň čistí svar. Na elektrodě se vyvine asi 2/3 tepla. V záporné půlperiodě (na elektrodě je záporný pól) se na elektrodě vyvine pouze 1/3 tepla a ostatní teplo se využije k natavení základního materiálu. Argon působí jako ochrana svaru, nečistí jej.

Svařovací zdroje s tzv. balancí, umožňují nastavení tvaru a časového průběhu kladných a záporných půlperiod sinusovky, a tím umožňují optimalizaci procesu svařování hliníku a jeho slitin. [4]

Obecně lze konstatovat, že se touto metodou při svařování hliníku a jeho slitin dosahuje nejlepších výsledků, kdy jakost svaru je velmi dobrá.

5.1.4 Kyslíko-acetylenové svařování (311)

Teplo nutné pro natavení základního materiálu vzniká hořením směsi oxidujícího a hořlavého plynu. Směs se ze zásobníku plynů přivádí hadicemi do hořáku, kde se smísí a na konci hořáku zapálí. Vzniklý plamen se skládá z několika pásem.



Obrázek 16 Pásma kyslíko-acetylenového plamene, převzato a upraveno z [1]

Oxidující plyn je kyslík O_2 , sám o sobě nehořlavý, ale hoření podporující, bez barvy a zápachu. Hořlavých plynů je více. Technicky nejvýznamnější je acetylen C_2H_2 . Technický acetylen má výrazný zápach po česneku a na vzduchu hoří bílým plamenem s velkým množstvím sazí. Plamen se dělí dle poměru jednotlivých složek na plamen:

- neutrální
- redukční (s přebytkem acetylenu)
- oxidační (s přebytkem kyslíku)

Neutrální plamen se používá pro svařování oceli a nahřívání, redukční plamen pro svařování hliníku, hořčíku a jejich slitin, oxidační pro svařování mosazi a bronzu.

Podle intenzity se plamen dělí na:

- měkký
- střední
- ostrý

Z hlediska svařování má plamen mít střední intenzitu, při které má přiměřený účinek na svarovou lázeň a nedochází ke zpětnému šlehnutí.

Základní svařovací souprava se skládá z následujících komponentů:

- tlakové lahve
- lahvové ventily
- redukční ventily
- hadice
- pojistka proti zpětnému šlehnutí
- svařovací hořáky

Tlakové lahve jsou vyrobeny z ocelových bezešvých trubek, nejčastěji o obsahu 50[l]. Rozlišují se barevnými pruhy u hrdla lahve dle druhu plynu. Kyslíková lahev je označena bílou barvou, acetylenová kaštanovou. Součástí lahve je lahvový ventil, který umožňuje odběr plynů. Pomocí převlečné matice se k němu připevňuje redukční ventil, který slouží k nastavení pracovního tlaku potřebného pro svařování. Redukční ventil a hořák propojují pryžové hadice, modrá pro kyslík a červená pro hořlavý plyn. Hadice jsou náchylné k poškození, je nutné s nimi zacházet opatrně a kontrolovat je. Spojují se hadicovými spojkami. Svařovací hořáky jsou různých konstrukcí, nejčastěji se používá nízkotlaký, tzv. injektorový. Na hořák se připevňují svařovací nástavce různých velikostí.



Obrázek 17 Injektorový svařovací hořák, vlastní zdroj

Tato metoda se používá většinou pro svařování slabých plechů do tloušťky 4[mm], dále pro pájení a řezání kyslíkem. V mnoha aplikacích tuto metodu nahradila metoda MAG, své nezastupitelné místo má stále při instalatérských pracích. [1]

5.2 Speciální svařovací metody

Vývoj nových materiálů a jejich nutnost spojování vedl zároveň k rozvoji nových metod svařování. V průmyslových odvětvích jako energetika, elektrotechnika letectví i kosmonautika je nutno často spojovat různorodé i rozdílně tlusté materiály, často obtížně svařitelné běžnými metodami. Vznikly nové metody, při kterých dochází k vysoké koncentraci tepelné energie na jednotkovou plochu. Dochází tak k velmi rychlému ohřevu základního materiálu na teplotu varu a vytváří se dutina ve tvaru kapiláry procházející celou tloušťkou materiálu, popř. do jeho značné hloubky. Následně dochází ke krystalizaci materiálu.

V anglické literatuře jsou tyto metody nazvány KEY HOLE, v české pak svařování klíčovou dírkou., nebo svařování průchozím paprskem.

Mezi společné výhody těchto metod patří menší šířka tepelného ovlivnění okolí sváru a snížení zbytkových napětí a deformací. Svařování probíhá bez přídavného materiálu. [1]

5.2.1 Laserové svařování (52)

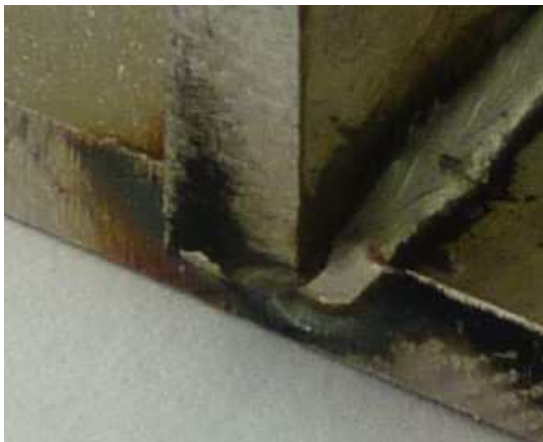
Laser je soustředěné světelné monochromatické záření o průměru paprsku 0,02 až 0,1[mm].[2] Jedná se o tzv. stimulovanou (vynucenou) emisi záření, které přenáší výkon až 1012[Wcm-2]. V souvislosti se svařováním se používají nižší rozsahy výkonů. Výkon se dá velmi přesně dávkovat a svazek fotonů lze usměrnit na velmi malou plochu, až do 10[μm]. Kinetická energie se při dopadu do místa sváru nemění na tepelnou energii jako u elektronového svařování. Laser zvyšuje vibrace mřížky a tak se zvyšuje teplota materiálu. Výhodou je možnost svařovat velmi tenké materiály, např. drátky nebo plíšky v elektrotechnických součástkách.

U ocelí je výhodná pro svařování legovaných a vysokolegovaných ocelí. Obsah uhlíku musí být do 0,2% kvůli rychlému ochlazení sváru. Metoda je vhodná

především pro svařování slabých materiálů. Výhodou je vysoká přesnost, snadná automatizace procesu, čistý provoz. Slabé plechy se svařují bez ochranného plynu.

Laser se také s výhodou používá k řezání většiny technických materiálů. U hliníku se používá do tloušťky 4-5[mm]. [1]

Ve společnosti EGE, spol. s r. o. se laserové svařování používá pro svařování přírub u protipožárních průchodních desek. Tyto desky umožňují prostup zapouzdřených vodičů zdi budovy. Na obrázku č. 18 je vidět detail koutového svaru u nerezové průchodní desky, těsně po svaření, před jeho očištěním.

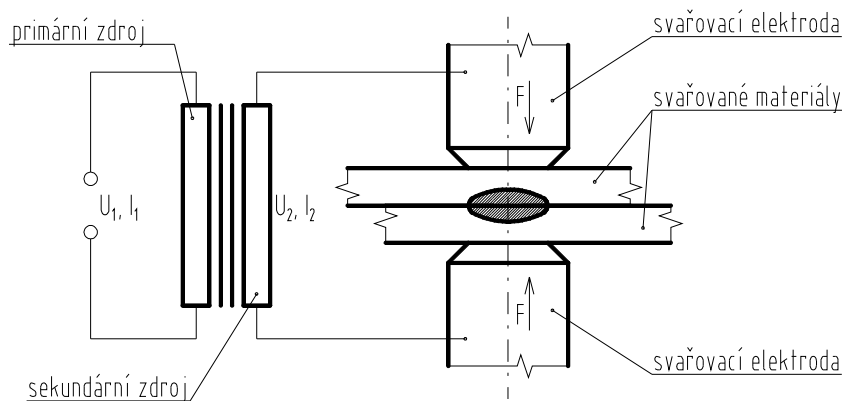


Obrázek 18 Laserový svar, vlastní zdroj

5.3 Svařování tlakové

5.3.1 Odporové svařování (2)

Odporové svařování patří mezi metody tavného svařování, které se vyznačuje se vysokou produktivitou, možností svařovat většinu kovových materiálů v různých polohách a mezi největší výhody patří využití v malosériové, sériové i hromadné výrobě, kde se především využívají svařovací automaty. Obrázek č. 19 popisuje princip této metody.



Obrázek 19 Schéma uspořádání odporového bodového svařování, převzato a upraveno z [1]

Průtokem elektrického proudu místem svaru se svařované součásti ohřejí na potřebnou teplotu, následně se materiály stlačí a tím dojde ke svaření. Množství odporového tepla je dáno Joule-Lenzovým zákonem:

$$Q = R \times I^2 \times t$$

- Q – množství tepla J
- R – elektrický odpor ohm
- I – proud A
- t – doba průchodu proudu s

Odporové svařování se dělí na čtyři hlavní skupiny:

- bodové
- výstupkové
- švové
- stykové

Bodového svařování charakterizují různé parametry jako je svařovací proud, přítláčná síla, svařovací čas, rychlost svařování, aj.

Dále rozeznáváme dvě kombinace velikosti proudu a délky svařovacího času:

- a) tvrdý režim – vysoký proud, krátký čas a vyšší přítláčná síla
- b) měkký režim – nižší proud, delší čas a nižší přítláčná síla

Především v hromadné výrobě se více používá tvrdý režim, kterým se dosáhne lepší kvality svaru, jemnozrnné struktury, menších deformací a napětí díky krátkodobému působení tepla, vyšší produktivity práce a úspory elektrické energie. Díky velmi krátkým svařovacím časům je odporové svařování vhodné pro mechanizaci, automatizaci a jako první svařovací metoda se využila u svařovacích robotů. Svařovací proces je řízen NC systémy.

Moderní odporové svářečky jsou poměrně složité a vyžadující kvalifikovanou obsluhu. Většinou mají třífázové napájení s usměrněním svařovacího proudu na sekundární straně.

Svářečky se staví v různých velikostech, ovládány mohou být ručně, dále jsou poloautomatické i automatické. Jako příklad mohou být bodové svářečky, které se staví od malých strojů tzv. mikrobodovek pro svařování v elektrotechnice, přes větší univerzální až po jednoúčelové velkých rozměrů, např. svařovací kleště. [1]

5.3.2 Tlakové svařování za studena (48)

Svařování probíhá bez ohřevu, materiály se k sobě stlačují velkou silou. U hliníku je to až 1300[MPa], u mědi až 3800[MPa]. Používá se pro svařování drátů z čistého hliníku používaných na vodiče. Před vlastním svařením je nutné dokonale odstranit vrstvu Al_2O_3 . Za působení velkého tlaku a následné deformace vznikne dokonalý metalický spoj, při kterém není nutný ohřev materiálu. [1]

5.4 Nové procesy ve svařování hliníku a jeho slitin

5.4.1 Astrio SuperPulzeTM

Jedná se o nový svařovací proces vyvinutý firmou ESAB, který podstatě spojuje výhody metod WIG a MIG. Metoda WIG dává podstatně lepší vzhled svaru, je ovšem pomalejší, nákladnější a náročnější na kvalifikaci a zkušenosti svářeče. Svařování metodou MIG je oproti metodě WIG podstatně rychlejší a levnější, zároveň se občas vyskytují problémy s kvalitou svarů a ani při použití pulzního svařování vzhled svaru není optimální.

Metoda Astrio SuperPulzeTM kombinuje dohromady pulzní, zkratový i sprchový proces, tak se využily jejich výhody. Vždy se kombinují dohromady dva procesy do jednoho svařovacího programu. K dispozici jsou kombinace zkrat/puls, puls/puls, sprcha/puls.

Hlavní výhody Astrio SuperPulzeTM jsou:

- možnost kontroly a ovlivnění vneseného tepla
- snadné svařování v polohách
- rovnoměrný a pravidelný průvar základního materiálu

- vzhled svaru podobný metodě WIG
- snadnější svařování tenkých materiálů
- výborné uplatnění při automatizaci svařování [14]

5.4.2 Třecí svařování promíšením (Friction stir welding – FSW)

Jedna z definic této metody svařování zní:

„Změklý materiál je přenesen na vlečný okraj nástroje a je vykován těsným kontaktem ramene nástroje a profilem trnu. Důsledkem je svar vysoké celistvosti s téměř nulovou deformací. Tímto způsobem lze svařovat i materiály běžnými způsoby nesvařitelné.“

(Martinec, Plíhal, Nové trendy ve svařování hliníku a jeho slitin, ESAB Vamberk, Svět svaru, http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/AlTrendy1_2007.pdf)

Jde o novou metodu vynalezenou v roce 1991 firmou TWI. Tuto metodu lze zařadit mezi metody třecího svařování, kdy teplo se vytváří třením mezi rotujícím, netavícím se vřetenem a svařovanými materiály. Do součásti, upnutých v přípravku, se podél jejich spáry zaboří třecí nástroj s profilovaným trnem rotujícím kolem své osy. Teplota materiálu dosáhne asi 0,8 násobek teploty tavení základního materiálu. Rotací nástroje současně dochází k promíšení materiálů.

Používá se především pro spojování plechů, bez natavení základního materiálu. Svařované materiály jsou především plechy ze slitin hliníku, titanu, hořčíku, mědi, niklu, olova a zinku. Neustále se vyvíjí nástroje pro svařování dalších materiálů, např. technického hliníku, plastů a dalších materiálů.

Výhody metody FSW jsou spoje bez pórů, bublin, trhlin a vměstků, menší tepelné ovlivnění okolí svaru, velký sortiment svařovaných materiálů včetně jejich kombinací, nejsou nutné přídavné materiály a ochranný plyn, snadná automatizace svařování a možnost svařování ve všech polohách.

Velkou výhodou je zlepšení bezpečnosti svařování, nevznikají jedovaté zplodiny jako u tavného svařování elektrickým obloukem.

Nevýhodou je vznik otvoru při ukončení svařování, který se buď musí zavařit klasickou metodou, nebo se konec svaru s otvorem odstříhne. Svařence je nutno upnout velkou silou a déle nastává problém se svařením plechů různých tloušťek.

Nástroje pro svařování hliníku a jeho slitin jsou vyrobené z nástrojových ocelí tř. 19 554 a jeho životnost je asi 1000[m] svaru. [14]

Následující obrázky č. 20 a č. 21 ukazují lícovou a rubovou stranu po svaření dvou plechů z čistého hliníku Al 99,5 používaného na výrobu vodičů. Jedna z možných náhrad ručního svařování by mohla být i metoda FSR. Ovšem, jak již bylo zmíněno, touto metodou se v současnosti lépe svařují slitiny hliníku, které jsou tvrdší, než čistý hliník. Na vzorcích je vidět, že nástroj zanechává na obou okrajích svaru zřetelné otřepy, které by bylo nutné dodatečně opracovat. U svařování slitinových plechů k tomuto jevu nedochází, svar je hladký a bez otřepů.

Po provedení těchto zkoušek bylo svařování vodičů touto metodou zatím zamítnuto s tím, že pokud se vyvine nástroj, který nebude zanechávat tyto otřepy, bude se v nich pokračovat.



Obrázek 20 Lícová strana svařence, vlastní zdroj



Obrázek 21 Rubová strana svařence, vlastní zdroj

6 Požadavky na přípravu svarových ploch

Správně připravené a očištěné svarové plochy jsou důležité z hlediska provedení kvalitního svaru. Příprava základního materiálu před vlastním svařováním spočívá v jeho dělení, úpravě svarových ploch do vhodného tvaru a rozměru (tzv. úkosování), očištění svarových ploch od veškerých nečistot (např. rzi, mastnoty a barvy). Před vlastním svařováním se hliníkové svařence většinou předeřívají na vhodnou teplotu.

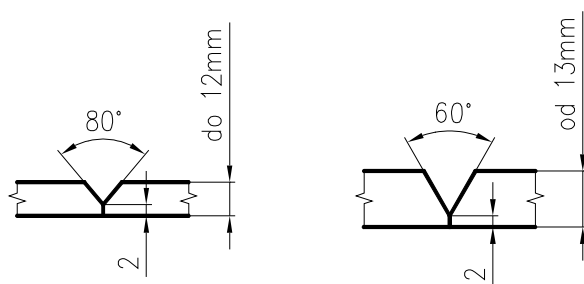
6.1 Dělení materiálu

Základní materiál, polotovar, ze kterého zhotovujeme požadovaný tvar výrobku, dělíme mechanicky na požadovaný tvar a rozměr např. stříháním na strojních nůžkách, tepelně např. řezáním plazmou, laserem, vodním paprskem. S výhodou se používá pro přesné dokončení rozměru a tvaru i třískové obrábění a to jak strojní (soustružení, frézování, hoblování), tak i ruční (pilování). Úprava ploch broušením naopak není vhodná z důvodu ulpívání brusných částic z kotouče v povrchu opracovaného materiálu. V případě použití brusného kotouče pak před vlastním svařováním je nutno vždy tyto plochy opílovat, v případě hliníku nejlépe pomocí rašple na hliník. K očištění svarových ploch je vhodné použít i drátěný nerezový, popř. ocelový kartáč.

6.2 Příprava tvaru a rozměru svarových ploch

Úprava tvaru svarových ploch materiálů souvisí s jeho tloušťkou. U hliníkových materiálů pro tupé svary je hraniční tloušťka materiálu 5-6[mm]. Do této tloušťky se svarové plochy většinou neupravují, materiály se přiloží k sobě a svaří se tupým svarem. Při větších tloušťkách, je nutné před svařováním provést požadované svarové úkosy. K vytvoření úkosů se používají tzv. úkosovačky, které mohou být strojní nebo ruční. Úkosy se výhodně provádí již během dělení materiálu,

např. plasmou a to nakloněním plazmového hořáku o velikost úhlu, který má mít svarový úkos.



Obrázek 22 Typické příklady přípravy tvaru a rozměru svarových ploch používaných u vodičů, vlastní zdroj

6.3 Očištění a odmaštění svarových ploch

Očištění spočívá především v odstranění vrstvy Al_2O_3 . Ta se odstraní buď mechanicky obroušením, opilováním nebo ocelovým kartáčem nebo chemicky. Chemické očištění se provádí před svařováním a materiály se musí svařit do 24 hodin. Vlastní postup spočívá v moření 10% NaOH, opláchnutím teplou a studenou vodou, neutralizací 20% HNO_3 , opětovným opláchnutím teplou vodou a sušením vzduchem. Odlitky se před mořením musí ještě odmastit. [4]

Úprava svarových ploch mořením se v praxi standardně nepoužívá, je pracná a neefektivní.

6.4 Předehřev ploch ke svařování

Hliník, jak již bylo zmíněno, je velmi dobrým vodičem tepla a především u svařenců větších rozměrů a tlouštěk se musí předehřát. Obecně se předehřívají materiály od tlouštěk 8 až 10[mm] a teploty se volí od 80 do 150[°C]. Ohřev musí být rovnoměrný po celé svarové ploše v šířce 50[mm] od osy svaru a proveden tak, aby došlo k co nejmenšímu tepelnému ovlivnění materiálu.

Teplota předehříváných svarových ploch se nejlépe kontroluje pomocí dotykových teploměrů.

Vždy je nutné zabránit přehřátí hliníku, tzn. ohřátí na teploty větší než 400[°C].

Plyny používané k předehřevu:

- propan-butan - je nejběžněji používaný plyn pro předehřev, teplota na špičce plamene je asi 2800[°C], ohřev je rovnoměrný



Obrázek 23 Nahřívání vodiče propan-butanovým plamenem, vlastní zdroj

- zemní plyn – rovnoměrný ohřev, pomalejší oproti propan-butanu
- kyslíko-acetylenový plamen - větší výhřevnost oproti propan-butanu, ohřev se provádí mírným plamenem, jinak hrozí poškození ohřívajícího povrchu, náklady na ohřev jsou vyšší než u propan-butanu

Použitím vhodného předehřevu se např. zamezí vzniku trhlin, zabrání se vzniku studených svarů (především na začátku svařování, u metody MIG) a odvodu tepla ze svarového místa. Velký význam má předehřev také z hlediska vysušení svarových ploch.

K předehřevu hliníku se ve společnosti EGE, spol. s r. o. používá výhradně propan-butan. Je k dispozici v tlakových lahvích o objemu 50[l]. Lahev je celá opatřena modrou barvou, připojení redukčního ventilu je zajištěno pomocí závitů W 21,8 Levý, vnější.

V současné době na trh přicházejí nové lahve na propan-butan, které jsou nižší a zároveň mají větší průměr při zachování stejného objemu. Lahev je celá opatřena šedou barvou.

7 Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu; MIG svařování (131)

7.1 Princip svařovací metody MIG

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavící se elektrodou (drát navinutým na cívce) a základním materiálem, přičemž drát je podávacím mechanismem přiváděn do svařovacího hořáku. Elektrický oblouk i povrch tavné lázně jsou zcela chráněny inertním plynem, který nereaguje s vnějším okolím. Z tohoto důvodu se tato metoda používá pro svařování neželezných kovů např. hliníku, mědi a titanu. [3]

Zařízení pro svařování může být monofunkční (pouze pro metodu MIG), nebo multifunkční (pro metody MIG, WIG i svařování obalenou elektrodou).

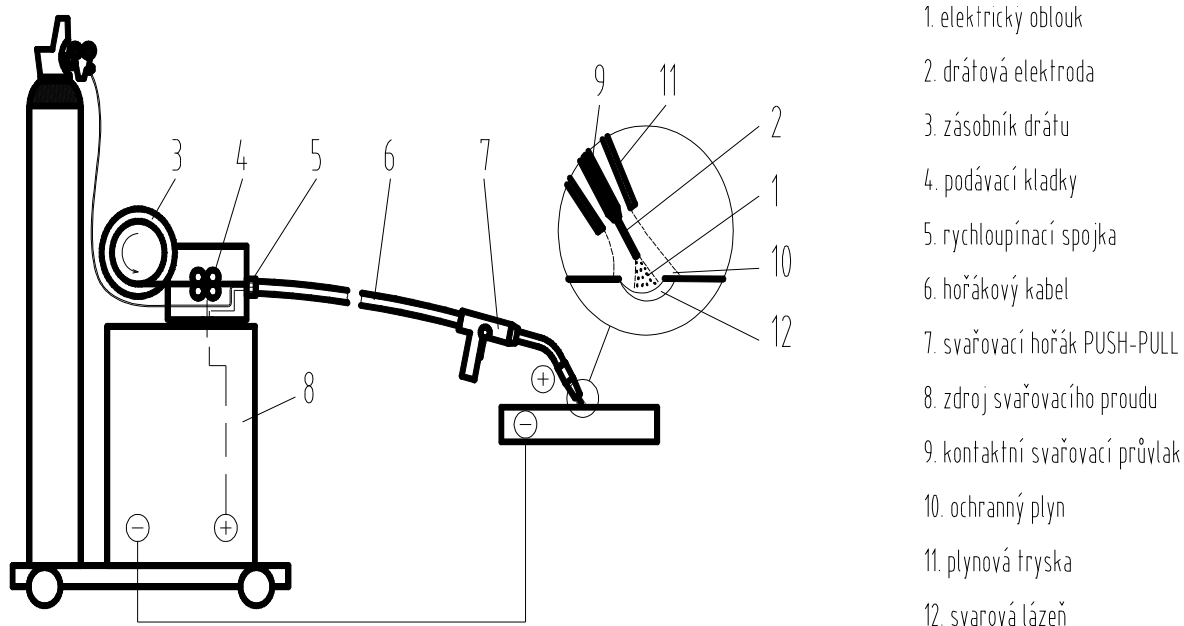
Základní nutné vybavení tvoří:

- zdroj svařovacího proudu a řídicí jednotka
- podavač drátu
- svařovací hořák
- multifunkční kabel hořáku s rychlospojkou pro propojení kabelu se svařovacím zdrojem
- lahev s obsahem ochranného plynu opatřená redukčním ventilem

Další doplňkové vybavení tvoří:

- chladicí jednotka
- mezipodavač drátu
- ruční měnič pro dálkové ovládání
- řídicí jednotka s různými stupni výbavy
- pojízdný vozík
- rameno pro nesení kabelu s hořákem [1]

Schématické znázornění svařovacího zařízení pro metodu MIG je na obrázku č. 24 s popisem hlavních částí.



Obrázek 24 Zařízení pro svařování metodou MIG, převzato a upraveno z [1]

7.2 Svařovací zdroje pro metodu MIG

Zdroje mají stejnosměrný výstup proudu, kladný pól zdroje je připojen na elektrodu. Uzemňovací kabel je připojen k zápornému pólu. Jako zdroje se používají svařovací usměrňovače, moderní zdroje pro svařování hliníku tvoří především svařovací invertory.

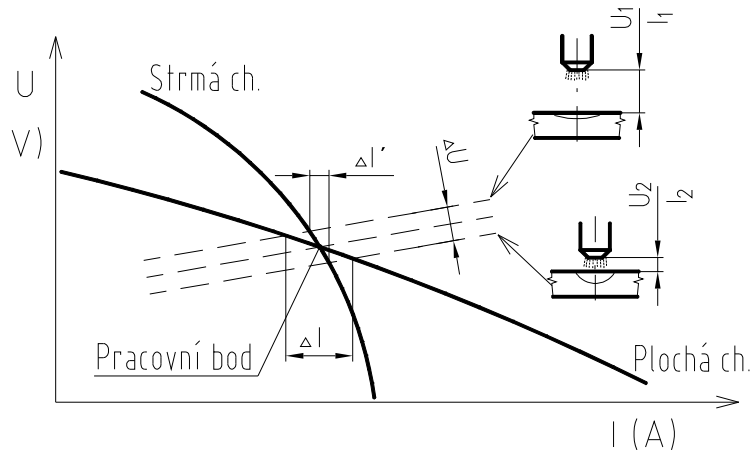
7.2.1 Základní technické parametry svařovacích zdrojů

Statická charakteristika je křivka, která vyjadřuje závislost napětí zdroje na svařovacím proudu. Získává se měřením napětí a proudu v elektrickém obvodu svařovacího proudu. Svařovací zdroje mají určitý tzv. regulační rozsah. Mezi krajními polohami tohoto rozsahu se pak jednotlivé statické zatěžovací charakteristiky nastavují skokově u zdrojů se stupňovitou regulací nebo plynule u zdrojů s plynulou regulací. Při svařování hliníku a jeho slitin se vždy používají zdroje s plynulou regulací.

Krajní body těchto křivek určují dva stavy svařovacích zdrojů – stav naprázdno (obvodem neprotéká proud a napětí je nejvyšší) a stav nakrátko (elektroda se dotýká svařovaného materiálu a obvodem protéká nejvyšší proud a napětí je nulové).

Průběh křivky charakterizuje následující zdroje:

- s konstantním napětím (tvrdé zdroje), zatěžovací charakteristiku mají plochou
 - s konstantním proudem (měkké zdroje), zatěžovací charakteristiku mají strmou
 - s konstantním výkonem, zatěžovací charakteristiku mají polostrmou
- [1]



Obrázek 25 Vliv ploché a strmé charakteristiky na kolísání proudu vyvolané změnou délky oblouku, převzato a upraveno z [1]

Svařovací zdroje se strmou statickou charakteristikou se používají pro ruční svařování elektrickým obloukem, kdy může docházet k většímu kolísání délky oblouku např. vlivem neklidného vedení elektrody nebo nerovnostmi povrchu. Tím nastává relativně velké kolísání napětí při nepatrné změně svařovacího proudu.

Svařovací zdroje s plochou charakteristikou se používají u automatického a poloautomatického svařování v ochranných atmosférách a pod tavidlem, kdy je zajištěn konstantní posun drátu do hořáku. Drát se odtavuje rychlostí, která je závislá na svařovacím proudu. Plochá charakteristika sama zjistí a vyhodnotí případné zvýšení nebo snížení svařovacího proudu, ke kterým dochází při změně délky oblouku. Délka oblouku je pak automaticky upravena na původní nastavenou hodnotu.

Princip je následující: „Při změně délky oblouku se změní napětí a dle pohybu pracovního bodu na statické charakteristice se mění proud. Při dlouhém oblouku se sníží proud i rychlost odtavování elektrody a při konstantní rychlosti podávání drátu se začne drát přibližovat ke svarové lázni a oblouk se tím zkrátí. Naopak při

dlouhém oblouku a poklesu napětí se zvyšuje intenzita proudu a odtavování je rychlejší. Délka oblouku se tím zvětšívá.

(Kolektiv autorů, Technologie svařování a zařízení, ZEROSS - svářečské nakladatelství, Ostrava: srpen 2001, str. 148)

Dynamická charakteristika je křivka charakterizující přechodové hodnoty napětí a proudu, které nastávají při zapalování oblouku, zkratu, přerušení zkratu. Tehdy dochází k rychlým změnám napětí a proudu. Dynamická charakteristika má význam při zkratovém (kapkovém) přenosu materiálu, kdy každá kapka způsobuje při přenosu zkrat (pokles napětí a současně vzrůst proudu). [1]

7.2.2 Svařovací usměrňovače

Svařovací usměrňovač tvoří síťový transformátor a usměrňovací prvky zapojené v sekundárním obvodu transformátoru. Transformátor je jednofázový pro vstupní napětí jednofázové (230[V], 50[Hz]), popř. sdružené (400[V], 50[Hz]) nebo třífázový (3x400[V], 50[Hz]). Usměrňovací součástky jsou polovodičové křemíkové diody nebo tyristory. Třífázové svařovací usměrňovače jsou vhodné pro velká proudová zatížení a oproti jednofázovým svařovacím usměrňovačům zatěžují zdroj napájení symetricky. Transformátor umožňuje využití stejnosměrného i střídavého proudu.

Svařovací usměrňovače mají dobré svařovací vlastnosti a jednoduché ovládání. Jsou vybaveny přepínačem, který umožňuje 2-taktní nebo 4-taktní svařování. Usměrňovače mají nehluký chod.

Regulace svařovacího proudu a vhodné nastavení zatěžovací charakteristiky je možné pomocí:

- a) regulační tlumivky – zdroj je jednofázový nebo třífázový, univerzální vhodný pro ruční svařování obalenou elektrodou, metody WIG, MIG a MAG.
- b) tyristorového řízení
- c) analogového řízení – svařovací proud řídí plynulé otevírání a uzavírání analogově řízeného tranzistorového stupně. Zdroj vykazuje velkou stabilitu oblouku, svařování bez rozstříku a tím je vhodný pro robotické svařování.

- d) digitálního řízení - svařovací proud řídí plynulé otevírání a uzavírání digitálně řízeného tranzistorového stupně. Zdroj je charakteristický impulzním procesem svařování. [1]

7.2.3 Svařovací invertorové zdroje

Invertorové svařovací zdroje jsou primárně řízené výkonovými spínacími prvky (měniči, střídači) vysokofrekvenčními tranzistory, popř. středofrekvenčními tyristory. Umístění transformátoru až za spínacím prvkem umožňuje malé rozměry a hmotnost transformátoru a to v poměru čím vyšší frekvence spínacího prvku, tím nižší hmotnost transformátoru. Výkon transformátoru přitom zůstává zachován. Poměr hmotnosti a proudu je do 0,05[kg]/1[A]. Transformátor invertorového zdroje je tak podstatně lehčí a menší oproti transformátoru v usměrňovači.

Řízení celého svařovacího zdroje se odehrává v elektronické řídicí jednotce, která reguluje podávání drátu, dávkování ochranného plynu. Komunikace se svářečem probíhá pomocí displeje. [1]

7.2.4 Digitální svařovací zdroje

Digitalizace představuje vrchol v oblasti svařovacích invertorových zdrojů. Centrální řídicí a regulační jednotka spolu se signálním procesorem řídí celý svařovací proces. Během svařování za jednu sekundu proběhne až 10 000 řídicích a regulačních cyklů. Porovnávají se aktuální a zadané svařovací parametry a na jakékoliv odchylky přístroj hned reaguje. Kontroluje se i síťové napětí, proud plynu, posuv drátu a další funkce zdroje. Výsledkem je pak precizní proces svařování, přesná reprodukovatelnost všech výsledků a vynikající svařovací vlastnosti. [1]

7.2.5 Synenergetický režim svařování

Digitální svařovací zdroje při svařování hliníku používají synenergetický svařovací režim, který umožňuje nastavení velkého množství svařovacích parametrů tzv. jedním regulačním prvkem. V elektronické paměťové jednotce jsou uloženy parametry libovolných kombinací pro základní materiál, přídatný materiál a plyn.

Optimalizace parametrů zaručující co nejlepší výsledek je předem naprogramována výrobcem zdroje. Svářeč nastaví pouze průměr drátu, druh ochranného plynu a druh svařovaného materiálu a jeho tloušťku. Mikroprocesor pak řídí plynulý průběh svařování v celém jeho rozsahu. Je výrazně eliminována chyba obsluhy a zároveň je dosaženo vysoké kvality, rychlosti a produktivity svařování.

Uživatel si může sám vytvořit vlastní programy svařování, uložit je do paměti a následovně vyvolat. [1]



Obrázek 26 Svařovací digitální zdroj pro svařování hliníku a jeho slitin od firmy FRONIUS, typ TranPuls Synergic 5000, vlastní zdroj

7.2.6 Typy svařovacích zdrojů

Základem různých modifikací zdrojů je kompaktní nebo stavebnicové uspořádání.

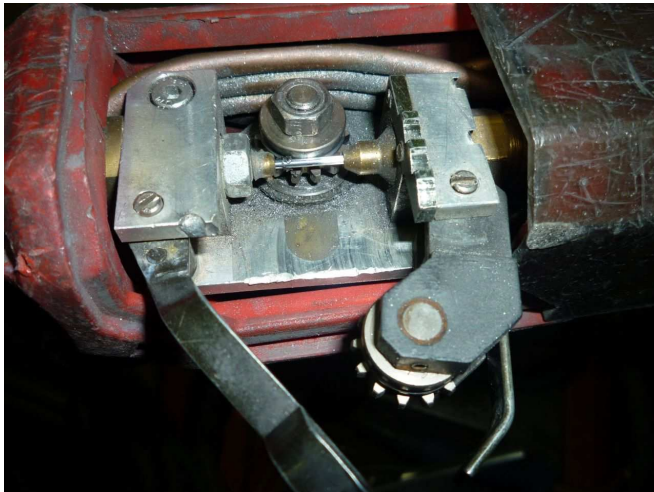
- Kompaktní zdroje mají integrovaný podavač drátu ve společné skříni se zdrojem.
- U stavebnicových zdrojů má zdroj i podavač drátu svoji samostatnou skříň. Podavač drátu je možné oddělit a umístit jej samostatně od zdroje.

Základní délky svařovacích kabelů se pohybují od 3 do 5[m]. Nestandardní délky svařovacích kabelů dosahují délek 10[m], výjimečně až 15[m]. [1]

7.2.7 Systém PUSH PULL

Pro délky svařovacích kabelů od 5 do 10[m], výjimečně až 15[m], se používá systém PUSH-PULL u kterého je posuv drátu integrován i do vlastního hořáku a je synchronizován s posuvem podavače drátu. Posuv je rovnoměrnější, plynulejší a svařovací drát je méně namáhán tahem.

Systém PUSH PULL se standardně používá pro přídavné materiály z hliníku a jeho slitin, mědi a tenké ocelové dráty do průměru 0,8[mm]. [1]



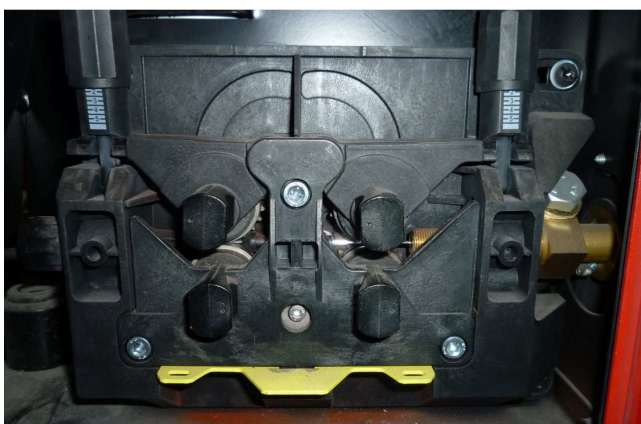
Obrázek 27 Systém PUSH-PULL, vlastní zdroj

Pro svařování ve výškách, v hůře přístupných prostorách a všude tam, kde není možné do blízkosti místa svařování umístit svařovací zdroj, se používá uspořádání s podavačem drátu na odděleném vozíku nebo s mezipohonem. Dosah svařovacího místa je pak 20 až 40[m] od svařovacího zdroje. [1]

7.3 Podavače drátu

Drát navinutý na cívce je podavačem drátu podáván do hořáku. Podávání musí být rovnoměrné, plynulé, nesmí poškozovat a deformovat povrch drátu. Toto zajišťuje podávací mechanismus s pohonem jednokladkovým, dvoukladkovým, čtyřkladkovým. Kladky mají tvar drážek lichoběžníkový, polokulatý hladký, polokulatý vroubkovaný nebo V-profil podle použitého typu přídatného drátu. Pro každý průměr drátu jsou nutné vlastní posuvné kladky. [1]

Pro hliníkové přídatné materiály se používá čtyřkladkový pohon, kladky mají obvykle tvar polokulatý hladký.



Obrázek 28 Detail čtyřkladkového pohonu, vlastní zdroj

7.4 Svařovací hořáky

Svařovací hořák je název pro sběrné vedení a rukojeť včetně nástavce hořáku. Zajišťuje přívod přídatného materiálu od podavače drátu do místa svaru, napájení elektrickým proudem a laminární proudění ochranného plynu do místa svaru. Chlazení je zajištěno proudícím ochranným plynem nebo nuceným oběhem chladicí kapaliny v uzavřeném okruhu. K chlazení se používá destilovaná voda, která je v zimním provozu namíchána s lihem nebo se používá speciální směsi dodávané výrobcem svařovacího zařízení. [1]



Obrázek 29 Svařovací hořák, vlastní zdroj

7.5 Řízení průběhu svařování spínačem na svařovacím hořáku

Řídící jednotka průběhu svařování je součástí svařovacího zdroje. Ovládá ji spínač, umístěný v rukojeti hořáku.

Při režimu svařování MIG používáme následující způsoby řízení, které jsou názorně popsány pomocí diagramů průběhu svařování. Každý typ svařovacího zdroje má možnost regulace. [8]

Svařovací zdroj Fronius má následující možnosti:



Obrázek 30 Symboly a zkratky, převzato a upraveno z [8]

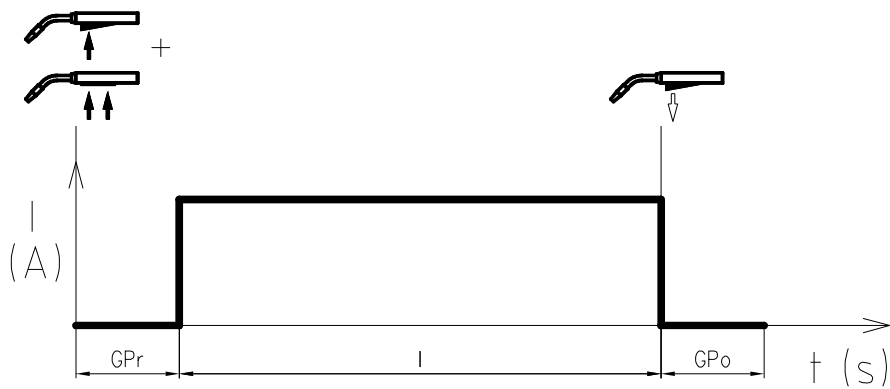
- a) GPr (doba předfuku ochranného plynu)
- b) I-S (fáze startovacího proudu: prudké ohřátí základního materiálu prostřednictvím vysokého odvodu tepla do začátku svařování)
- c) SL (sklon neboli pokles proudu: kontinuální pokles startovacího proudu až na hodnotu svařovacího proudu a závěrného proudu = svařovací proud koncového kráteru)
- d) I (fáze svařovacího proudu: rovnoměrný přísun tepla do základního materiálu rozehtátého předbíhajícím teplem)
- e) I-E (fáze závěrného proudu: k zamezení místního přehřátí základního materiálu nahromaděním tepla na konci svaru. Zabrání se možnému provaření spoje)
- f) SPt (doba bodování)
- g) GPo (doba dofuku plynu) [8]

7.5.1 Režimy a vhodnost jejich použití

2-takt:

- stehování
- krátké svary

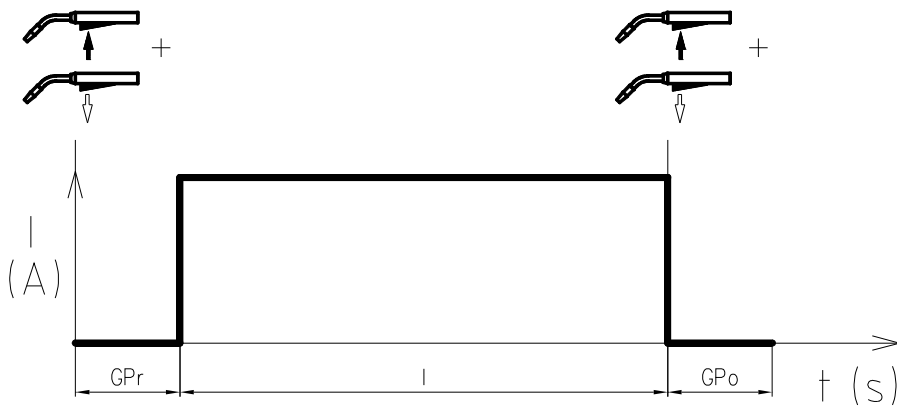
- automatizovaný a robotizovaný provoz [8]



Obrázek 31 Režim 2-takt, převzato a upraveno z [8]

4-takt:

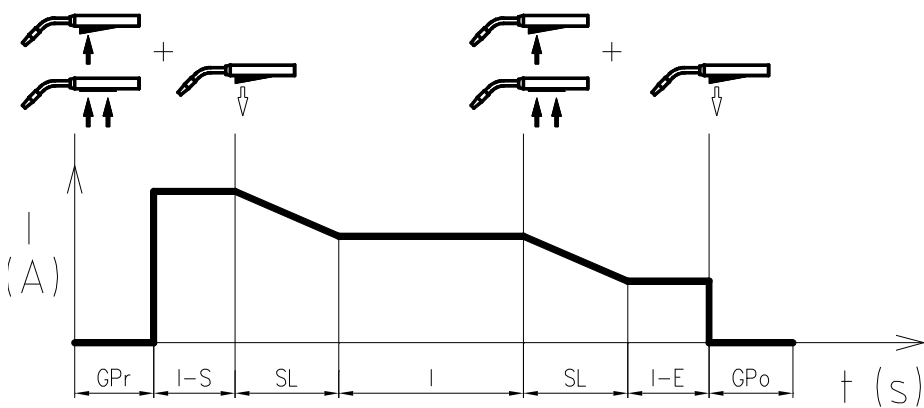
- dlouhé svary



Obrázek 32 Režim 4-takt, převzato a upraveno z [8]

Speciální 4-takt (start pro hliník):

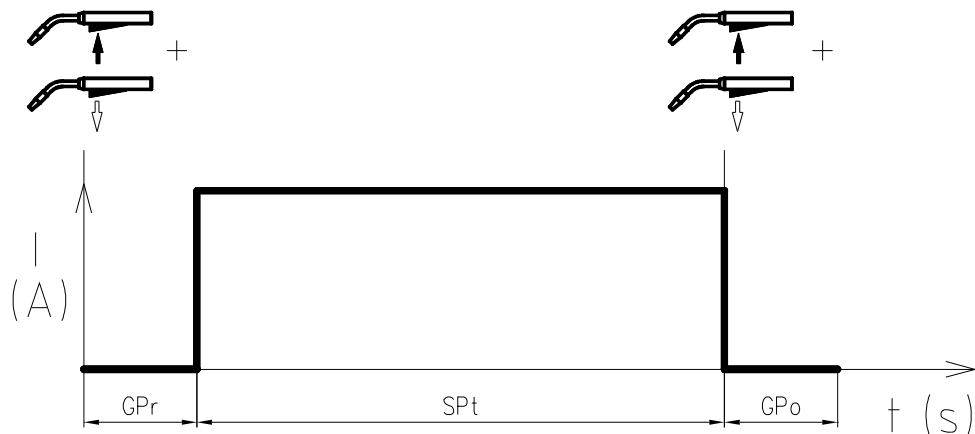
- svařování hliníkových materiálů, kde vysoká tepelná vodivost hliníku je zohledněna speciálním průběhem svařovacího a dokončovacího proudu [8]



Obrázek 33 Režim speciální 4-takt, převzato a upraveno z [8]

Bodování:

- svarové spojování překrývajících se plechů [8]



Obrázek 34 Režim bodování, převzato a upraveno z [8]

7.6 Části oblouku a přenos kovu v oblouku

7.6.1 Elektrický oblouk

Zdrojem vysokých teplot, které jsou nutné k natavení svarových ploch, je elektrický oblouk.

Svařovací oblouk, který hoří mezi elektrodou a materiálem je elektrický výboj kruhového průřezu, procházející horkým ionizovaným plynem. Je charakterizován napětím 10 až 50[V] a proudem 10 až 2000[A]. Teplota oblouku dosahuje více než 5000[°C]. Na katodě se uvolňují elektrony, prochází sloupcem oblouku, tj. vodivou plazmou a odvádí se anodou. [3]

7.6.2 Zapálení oblouku

Zapálení oblouku probíhá při napětí naprázdno zdroje a je obvykle vyšší než při ustáleném hoření oblouku, tedy mezi 60 až 70[V].

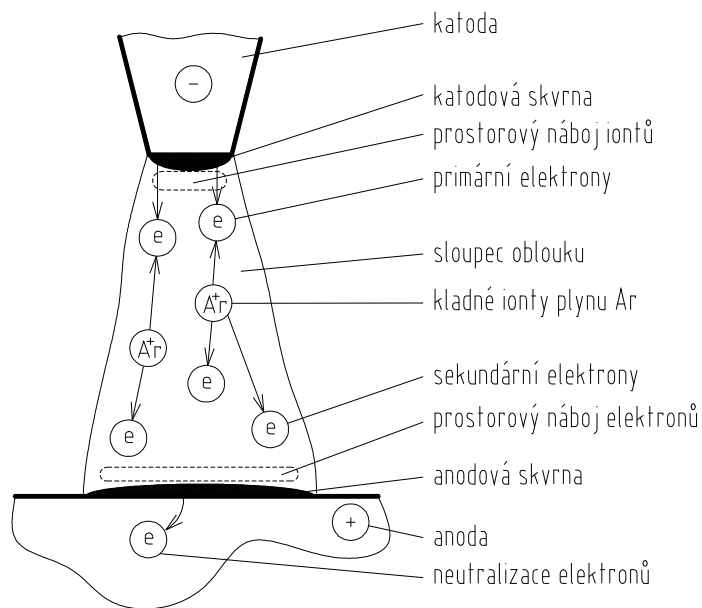
U metody MIG se zapálení oblouku se provádí krátkodobým dotykem elektrody se základním materiálem. Svařovací proud je předem nastaven. Místo dotyku (rozhraní elektroda-materiál) se průchodem zkratového proudu vysokým přechodovým odporem roztaví. Nastává termoemise primárních elektronů, ionizuje se okolní plynné prostředí a dojde k vedení elektrického proudu v plynu. Po oddálení

elektrody dojde k rozvoji oblouku, zvýší se odtavování kovu, přičemž dochází částečně k jeho odpařování. Vzniká stabilní sloupec oblouku. [1]

7.6.3 Části oblouku

Stejnoseměrný oblouk, který hoří mezi elektrodou a základním materiálem v ochranném plynu argonu. Za konstantní délky je stabilní, má stálý proud i napětí.

Složení oblouku je znázorněno na obrázku č. 23 s názvy jednotlivých oblastí:



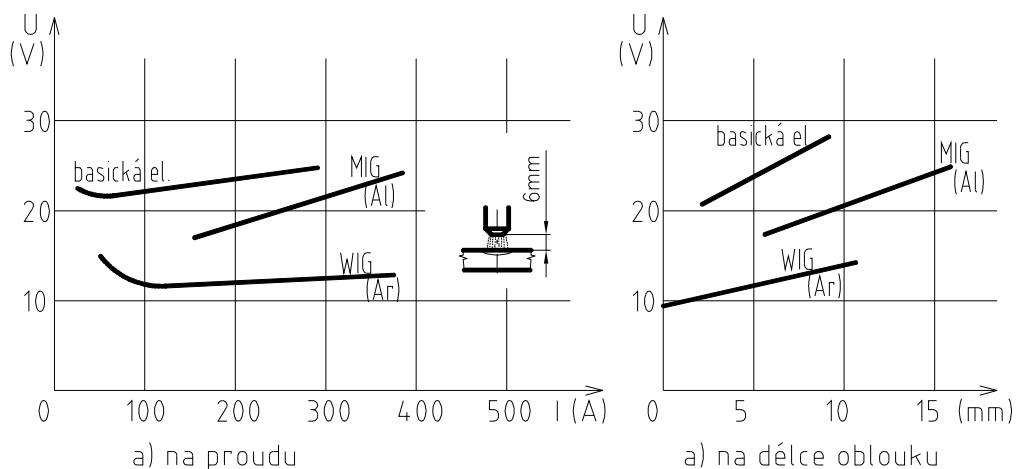
Obrázek 35 Části elektrického oblouku, převzato a upraveno z [1]

- Katodová skvrna je část povrchu žhavé katody, kde se emitují primární elektrony, které mají vysokou kinetickou energii a ionizují při srážkách neutrální atomy na kladné ionty a elektrony. Katodová skvrna je stabilní nebo se přemísťuje po povrchu katody, její teplota je 2400 až 3000[°C].
- Oblast katodového úbytku napětí je prostor těsně u katody, asi 0,1[mm] tlustý. Pokles napětí je asi 8-16[V].
- Sloupec oblouku je tvořen prostorem mezi elektrodami. Má velmi jasné světlo a vysokou teplotu. Z fyzikálního hlediska je to plazma, tedy ionizovaný, elektricky vodivý plyn o vysoké teplotě. Na vedení proudu v oblouku se především podílí elektrony, mají malou hmotu a pohybují se ve směru spádu napětí. Kladné ionty mají mnohem větší hmotu než elektrony a pohybují se od anody ke katodě působením

elektrostatických sil a to až do určité hodnoty proudu. Nad kritickou hodnotu proudu pak plazma proudí od elektrody k základnímu materiálu bez ohledu na polaritu. Základní materiál je ovlivněn proudícím plazmatem nejen tepelně, ale i mechanicky. Teploty oblouku se u jednotlivých metod svařování liší. Při svařování obalenou elektrodou je teplota oblouku 4200 až 6400[°C], pod tavidlem 6700 až 7800[°C], metodou WIG 6000 až 9500[°C]. Proudová hustota, která je nejvyšší u metody MIG, vytváří vhodné podmínky pro ionizaci a teplota je 8000 až 15000[°C].

- Oblast anodového úbytku napětí je prostor těsně u anody, ale mnohem menší tloušťky v řádu setin až tisícín mm.
- Anodová skvrna je část povrchu anody pohlcující elektrony. Jejich kinetická energie se mění na energii tepelnou. Anoda se dopadem elektronů zahřívá. Na anodě se získá více tepla než na katodě a pohybuje se mezi 2700 až 3600[°C]. Většinou dochází k varu svařovaných materiálů.
- U svařování stejnosměrným proudem rozlišujeme přímou polaritu, pokud na elektrodě je mínus pól a na základním materiálu plus pól. V opačném případě jde o nepřímou polaritu. [1]

Voltampérová (V-A) charakteristika elektrického oblouku charakterizuje závislost elektrického napětí na oblouku a to jednak z hlediska svařovacího proudu a dále na délce oblouku.



Obrázek 36 V-A charakteristika pro ocel a hliník, převzato a upraveno z [1]

Oblouk se projevuje tepelnými a elektrickými účinky, které lze měnit nastavením parametrů svařování a tím ovlivnit výsledný svarový spoj z hlediska tepelného ovlivnění základního materiálu, zbytkových napětí a deformací.

Mechanické účinky oblouku, tj. silové působení oblouku na základní materiál se projevuje vytvořením prohlubně v tavné lázni a tím se dosahuje hlubokého závaru. Jsou vyvolány tlakem plazmatu, který velmi závisí na použitém ochranném plynu. Největší tlak je při svařování v ochranném plynu CO₂, nižší v argonu a nejnižší v heliu. [1]

7.6.4 Přenos kovu v oblouku

Každá metoda svařování je mimo jiné charakterizována způsobem přenosu kovu v elektrickém oblouku.

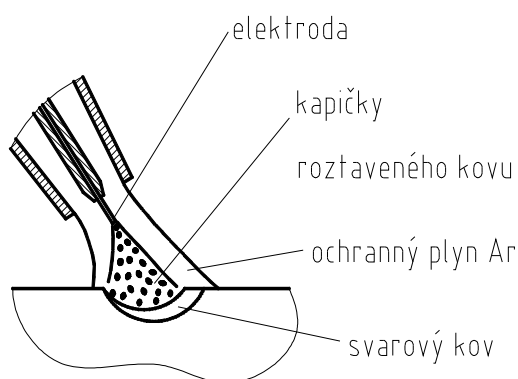
Z tavicí se elektrody se kov této elektrody během svařování přenáší ve sloupci oblouku do svarové lázně. Kov se odděluje ve formě kapek a to různým způsobem. Vliv na druh přenosu má hustota proudu, napětí dané délkou oblouku, obal elektrody nebo druh ochranné atmosféry a polarita. Oddělení jedné kapičky kovu od elektrody je závislé na mnoha fyzikálně-chemických faktorech. Jedná se např. o silové účinky iontů a elektronů, silový účinek zemské přitažlivosti a silové účinky elektromagnetického pole.

Rozeznáváme tři základní druhy přenosu kovu v oblouku:

- Zkratový přenos, který probíhá při nižším napětí (krátký oblouk) i nižší proudové hustotě. Pravidelně se střídá fáze hoření oblouku a zkratu. Vyskytuje se např. u bazických elektrod.
- Kapkový přenos, při kterém se z elektrody odtavují malé kapky kovu v počtu 20 až 50 ks za sekundu a to bez zkratů. Při pulzním způsobu počet kapek odpovídá počtu pulzů. Charakteristický je pro svařování v ochranné atmosféře směsi argonu a CO₂.
- Sprchový přenos, při kterém jemně rozptýlené kapičky roztaveného kovu přecházejí z elektrody ve směru její osy do svarového kovu, znázorňuje obrázek č. 37. Přenos se uskutečňuje za vyšší hustoty

proudu (od 200 do 500[A]) a vyššího napětí (28 až 40[V]), které je typické při delším oblouku. Dlouhý oblouk se sprchovým přenosem bez zkratu je charakteristický pro svařování neželezných kovů v ochranné atmosféře argonu, příp. směsi argonu a CO₂. Během oddělování kapiček je proud konstantní, oblouk nezhasíná, hoří klidně a do základního materiálu se přenáší velké množství tepla, což se projevuje velkou hloubkou závaru. Zvukově se sprchový přenos kovu projevuje typickým výrazným syčením, které je občas přerušeno praskáním z důvodu nestabilního oblouku. [3]

Zkušený svářeč tak po zvuku pozná, jak kvalitní bude svarový spoj. Pokud se toto syčení utlumuje, není výrazně slyšitelné, pak svár je méně kvalitní, např. pórovitý.



Obrázek 37 Sprchový přenos, převzato a upraveno z [1]

7.6.5 Synchro-Puls

U moderních digitálních svařovacích zdrojů se uplatňuje impulzní bez zkratový přenos – Synchro-Puls. Průběh přenosu kovu, který je řízen elektronicky, má pravidelný cyklus podle frekvence proudu. Základní proud je nízký od 20 do 50[A], kterému odpovídá i nízká frekvence pulzů od 0,5 do 10[Hz] a delší časový okamžik řádově do 5[m/s]. V tomto okamžiku se tvoří kapička kovu.

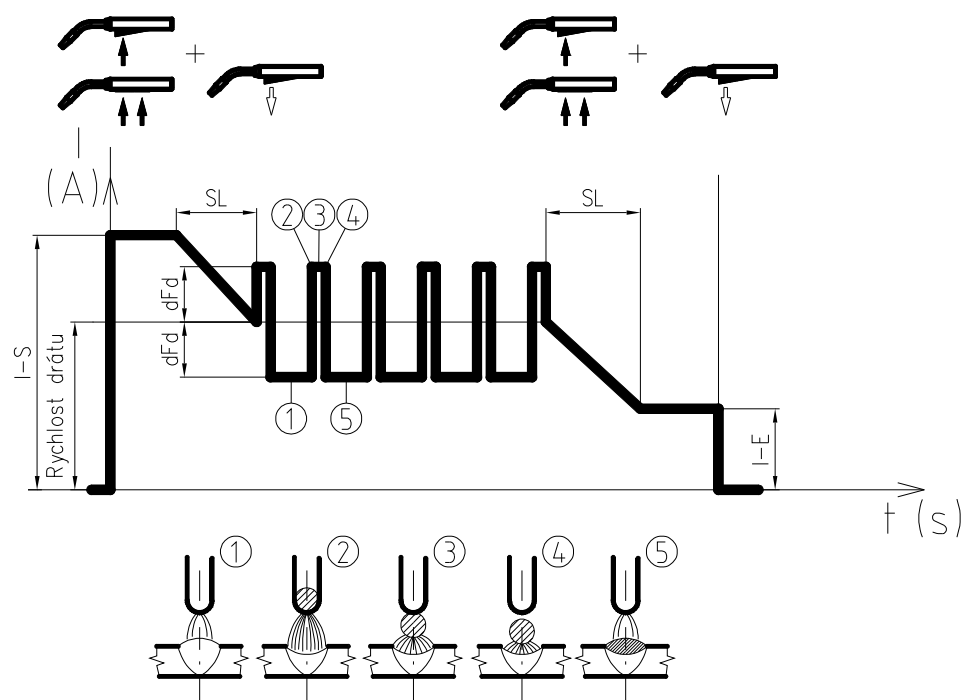
Po té nastává perioda vysokého svařovacího proudu až 250[A], kterému naopak odpovídá vysoká frekvence pulzů až 500[Hz] a krátký časový okamžik řádově desetin[ms]. V této periodě se odděluje kapička kovu. V obou případech dochází současně k pulzaci při podávání drátové elektrody.

U impulzního bez zkratového přenosu spojením dlouhých a krátkých impulzů při svařování hliníku metodou MIG se dosáhne pravidelné a jemné svarové housenky

podobně jako u metody WIG, sníží se množství vneseného tepla, což umožňuje svařovat i tenké plechy.

Řízení průběhu svařování je pak realizováno pomocí speciálního 4-taktu s funkcí Synchron-Puls.

Pro svařování hliníku jsou moderní svařovací zdroje vybaveny speciálními svařovacími programy a volbou Synchron-Puls. Tyto programy jsou dostupné přímo z ovládacího panelu svařovacího zdroje. [1]



Obrázek 38 Průběh proudu a přechod kovu u impulzního svařování, převzato a upraveno z [8]

- a) 1 = základní proud, udržuje oblouk
- b) 2 = vysoký svařovací proud, vysoký pulz roztavuje konec elektrody
- c) 3 = roztavený konec elektrody se zaškrcuje
- d) 4 = na konci vysokého pulzu se odděluje kapka kovu
- e) 5 = dopad kapky do svarové lázně bez rozstříku na začátku další fáze základního proudu [8]

7.7 Ochranné plyny

Metoda MIG, jak již napovídá její označení, používá k ochraně svaru inertní neboli netečné plyny. Jsou to čistý argon, čisté hélium, nebo jejich směsi.

Ochranný plyn vytváří ionizované prostředí pro dobrý start a hoření oblouku a přispívá k přenosu tepelné energie do svaru. Dále zabraňuje přístupu okolní atmosféry ke svarovému kovu, která způsobuje oxidaci a nitridaci svarového kovu a tím i zhoršení mechanických vlastností svaru.

Složení plynu, způsob přívodu do svaru i jeho množství ovlivňuje tvar i rozměr průřezu svaru.

Správná volba plynu má tedy vliv na kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svaru. [15]

7.7.1 Argon

Argon je inertní plyn bez zápachu, barvy a chuti. Nereaguje s jinými prvky. Chemická značka je Ar.

Má malou tepelnou vodivost, rovněž ionizační potenciál je nízký, což usnadňuje zapalování oblouku a dobrou stabilitu oblouku. Výhodou jeho použití při svařování hliníku je malý přechod tepla z oblouku do okolí svaru. Závar je hluboký a užší.

Argon nemá žádné výraznější nedostatky jako ochranný plyn, občas může dojít ke vzniku zápalu, někdy na okrajích svaru se projeví díky nedostatku tepla horší kresba svaru. U metody MIG pozitivně ovlivňuje sprchový přenos kovu do svarového materiálu.

Pro svařování musí mít argon potřebnou čistotu, která se pohybuje od 99,5% do 99,999%. Nečistoty nepříznivě ovlivňují kvalitu svaru. [15]

7.7.2 Helium

Helium je inertní plyn bez barvy, chuti a zápachu. Chemická značka je He. Čistota se pohybuje od 99,996% do 99,999%.

Hélium oproti argonu má velkou tepelnou vodivost i ionizační potenciál, což vede buď k širokému svaru, nebo hlubokému závaru. Zapalování oblouku je obtížnější.

Helium se používá především u mechanizovaných způsobů svařování. U metody MIG se používá hlavně ke svařování mědi a velkých hliníkových dílů. Nároky na přehřev jsou pak nižší, zmenšuje se i výskyt pórovitosti.

Pro běžné svařování hliníku a jeho slitin se hélium jak o ochranný plyn běžně nepoužívá, protože jeho cena je výrazně vyšší než u argonu. [15]

7.7.3 Směsné plyny

Nejvíce používaný je univerzální směsný plyn se složením 70% argonu a 30% helia. Používá se pro metody MIG i WIG. Někdy se přidává 0,03 % oxidu dusnatého do ochranného plynu kvůli snížení ozonu.

Dále se používají směsné plyny v poměrech 50% argonu a 50% helia a dále 25% argonu a 75% helia. [15]

Mohou se používat i jiné poměry obou plynů v případě speciálního použití na základě požadavku uživatele.

Porovnání závaru při použití ochranného plynu argonu, směsného plynu a helia znázorňuje obrázek č. 39.



Obrázek 39 Rozdílnost závaru při použití ochranného plynu Ar a He, převzato a upraveno z [3]

7.7.4 Lahve a zásobníky na ochranné plyny

Ochranné plyny se obvykle uchovávají v 50l lahvích s přetlakem 20MPa nebo 30MPa. Lahve jsou pro rozlišení označeny barvou v její horní zaoblené části:

- a) Argon = barva zelená
- b) Hélium = barva hnědá
- c) Směsný plyn Ar a He = barva jasně zelená

Každá lahev je zároveň označena nálepkou s úplným názvem a popisem plynu, včetně chemického složení a poměrného zastoupení jednotlivých složek.



Obrázek č. 1 Lahev s ochranným plynem Ar, vlastní zdroj

Lahve se umísťují přímo na pojízdný vozík a jsou zajištěny řetízkem nebo stahovacím páskem.

V dílnách a halách, kde probíhají současně svařovací práce na více pracovištích, se s výhodou používá centrální rozvod ochranného plynu z jedné tlakové nádoby, která je umístěna ve venkovních prostorách mimo dílnu. V EGE, spol. s r. o. byl tento rozvod plynu realizován před více jak 10 lety. Čistota použitého ochranného plynu – argonu je 99,999%.

7.8 Přídavné materiály

Pokud svařujeme hliník a jeho slitiny, je důležité znát chemické složení základního materiálu. Podle toho pak volíme přídavný materiál a u slitin je nutné zjistit, zda jsou vůbec svařitelné.

Přídavný materiál je kov, který se v roztaveném stavu přidává během tavného svařování do svaru, kde se smísí s nataveným základním materiálem. Tím po ztuhnutí vznikne svarový spoj.

Při svařování hliníku a jeho slitin je důležité pro dosažení kvalitního svaru dodržovat při volbě přídavného materiálu některá pravidla. Je dobré, pokud možno používat přídavné materiály se stejným nebo podobným chemickým složením jako má základní materiál.

U materiálů skupiny 1xxx – Al99,5 a více, tedy čistého hliníku, se používá přídavný materiál opět čistý hliník Al99,5. Pro zjemnění struktury svarového kovu se do drátu přidává 0,1 až 0,2% titanu.

U slitinových materiálů skupiny 6xxx - AlMgSi se jako přídavný materiál používá přednostně AlSi5, popř. AlMg5. Pokud je to možné, tak se jako zjemňující

přísady používají opět prvky s vysokým bodem tání chrom, vanad a titan v množstvích 0,15 až 0,25%.

U slitinových materiálů skupiny 5xxx - AlMg se používá jako přídavný materiál AlMg5, popřípadě AlMg3.

Přídavný materiál se pro svařování hliníku a jeho slitin metodu MIG vyrábí ve formě drátu, který je navinut na cívce. Cívky drátu mají standardně hmotnost 7kg. Dráty se vyrábí o různých průměrech od 0,8[mm] do 2,4[mm]. [1]

Pro většinu aplikací svařování metodou 131 (MIG) se u zapouzdřených vodičů (materiály tloušťky 3-20[mm]) používá průměr drátu 1,6[mm]. Pro svařování slabých plechů (tloušťky do 2[mm]) se používá průměr drátu 1,2[mm].

Obecně platí, čím je základní materiál silnější, tím větší průměr drátu se použije.

Pro skladování přídavných materiálů je nutné zajistit odpovídající podmínky, suché místo s relativní vlhkostí do 50% a teplotou okolí nad 4[°C]. Cívky se svařovacím drátem jsou z výroby zataveny do ochranné fólie a zabaleny do papírové krabice s potřebnými popisy pro identifikaci drátu, jak je vidět na obrázku č. 41.



Obrázek 40 Štítek s popisem označující drát AlSi5, vlastní zdroj

Při svařování hliníku a jeho slitin je nutné vybrat vhodný přídavný materiál. Jeho chemické složení a mechanické vlastnosti se volí podle základních materiálů, které se spolu svařují. Přídavné a základní materiály nelze vzájemně libovolně kombinovat. Vždy je důležité dbát doporučení výrobce přídavných materiálů, který v katalogových listech jednotlivých výrobků stanovuje rozsah jejich použití. Jedině tak se dosáhne kvalitního svaru. V následujícím obrázku č. 42 jsou uvedeny některé možné kombinace přídavného a základního materiálu.

Al99,5	Al99,5 Ti			
AlMg4,5Mn	AlMg5	AlMg5Cr		
AlMg3	AlMg5Cr	AlMg5Cr	AlMg5Cr	
AlMgSi0,5	AlSi5	AlMg5Cr (AlMg4Mn)	AlMg5Cr	AlSi5
Základní materiál	Al99,5	AlMg4,5Mn	AlMg3	AlMgSi0,5

Obrázek 41 Tabulka základních a přídavných materiálů a jejich kombinace, vlastní zdroj

Z tabulky je patrné, že přídavným materiálem na bázi čistého hliníku (Al99,5 Ti) lze svařovat pouze základní materiály rovněž z čistého hliníku (Al99,5). V případě, že svařujeme základní materiály v kombinaci čistý hliník se slitinovým materiálem hliníku, je třeba použít přídavný materiál na bázi slitiny, která odpovídá základnímu materiálu slitiny hliníku, z důvodu, že slitiny hliníku mají svařovací vlastnosti.

V EGE, spol. s r. o. se v současnosti používají přídavné materiály pro všechny metody svařování od firmy ESAB.

7.9 Parametry svařování

Základní svařovací parametry jsou svařovací napětí, proud a posuv přídavného materiálu (pro metodu MIG).

Přestože digitálně řízené svařovací zdroje si tyto parametry nastavují a řídí podle průběhu svařování, obecně se vliv napětí a proudu dá charakterizovat podle jejich velikostí.

Vysoké napětí zvyšuje délku oblouku, pórovitost svaru a rozstřík. Svar je v menší hloubce svaru a širší.

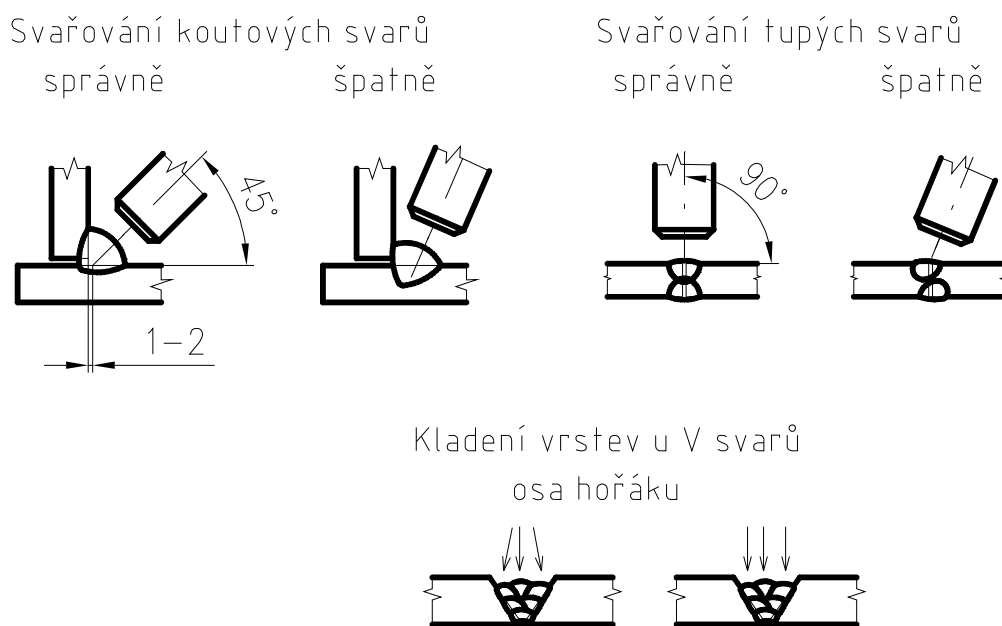
Nízké napětí způsobuje nestabilní oblouk, u vícevrstvých svarů se zvyšuje možnost studených svarů.

Svařovací proud nejvíce ovlivňuje tvar a průřez svarové housenky. Při konstantním napětí se s rostoucím proudem výrazně zvětšuje hloubka závaru, méně šířka svaru a převýšení housenky. [1]

7.10 Technika ručního svařování metodou 131 (MIG)

Technika svařování spočívá především ve správném vedení hořáku, tedy především sklonu osy hořáku vzhledem k základnímu materiálu. Hořák se obvykle

vede vpřed přímočarým pohybem, nebo s rozkyvem. V případě svislých svarů se svařuje zdola nahoru. [1]



Obrázek 42 Technika ručního svařování metodou 131 (MIG), převzato a upraveno z [3]

7.11 Stručný popis svařovacího automatu BOKI BKM/BRP

Svařovací automat byl vyroben podle zadání firmy EGE, spol. s r. o., tzn. pohony a délky pojezdů jsou přizpůsobeny největšímu vyráběnému průměru pouzdra zapouzdřeného vodiče 1820[mm], kdy svařenec je upínán a podepírán na tomto průměru. Tento průměr je také maximální, který lze na tomto zařízení svařit. Největší průměr svařence, který nebrání otáčení trubky, může být 2020[mm].

Zařízení se skládá z následujících částí:

- a) Sloup BKM = nese další části svařovacího automatu, je otočný s možností natočení o 180°, zajištění polohy je řešeno pneumatickou brzdou
- b) Pojezdová dráha = maximální pracovní délka pro kolmé svařování je 10500[mm] od sklíčidla pro tupé svary. Pro koutové svary, kdy svařovací hořák se naklání ke sklíčidlu nebo od sklíčidla až o 50 stupňů jsou maximální pracovní délky 10330 až 11230[mm] od sklíčidla.
- c) Otočný manipulátor (sklíčidlo) = pohon sklíčidla je motorový s přepínačem pro ruční a strojní ovládání

- d) Podpěrné vozíky = kladkové polohovadlo s konstantní výškou osy rotace bez motorového pohonu kladek (ovládání pohybového šroubu je manuální pomocí klíče), podpěrné vozíky jsou celkem čtyři.
- e) Pojezdová dráha = vodící dráha podpěrných vozíků se skládá ze dvou kolejnic, zapuštěných do betonu
- f) Podavač drátu = je umístěn otočně na čepu 1,5m od svařovacího hořáku. Standardně se používá Al svařovací drát D1,6[mm] pro tloušťky základních materiálů od 5[mm] (95% případů použití) nebo D1,2[mm] pro tloušťky základních materiálů do 4 [mm] (5% případů použití).
- g) Strojní svařovací hořák = výrobcem je firma Fronius, typ Robacta ve standardním provedení s vodním chlazením, náklon hořáku je mechanický ve čtyřech navzájem na sebe kolmých směrech
- h) Držák (saně k uchycení strojního hořáku pro metodu MIG) = křížové motorické saně s AC servopohonem automaticky korigují polohu hořáku podle pokynů řídicí elektroniky sledovacího čidla, saně se dají otočit o 90° pro příčné i podélné svařování
- i) Pendl svařovacího hořáku = jednotka s AC servopohonem, umožňuje plynulé nastavení prodlevy v krajních bodech, šířku pendlu, rychlost pendlu
- j) Naváděcí systém = navádění hořáku je realizováno pomocí dotykového čidla, které snímá výchylky tykadla. Tykadlo se pohybuje po povrchu svařence. Čidlo snímá pohyb tykadla, vyhodnocuje ho a následně koriguje polohu hořáku pohybem křížových motorických saní. Přesnost snímání je +/- 0,2[mm].
- k) Řídicí jednotka (základní panel) = umožňuje ovládání a programování všech funkcí stroje kromě upínání sklíčidla, které je umístěno na manipulátoru. Součástí je i přenosný ovladač, který umožňuje programování.
- l) Filtrační jednotka = svařovací automat byl doplněn elektrostatickou filtrační jednotkou KEMPER, která odsává vznikající škodlivý prach, kouř a výpary z místa svařování. Obsluha je tak účinně chráněna před těmito škodlivinami i bez použití osobních filtračních jednotek, tak jak je to nutné při ručním poloautomatickém svařování metodou MIG

nebo WIG. Toto odsávání zabraňuje šíření škodlivin i do okolních prostor dílny a tím přispívá k ochraně zdraví ostatních pracovníků, především zámečníků, kteří při práci žádné ochranné filtrační pomůcky nepoužívají. [10]



Obrázek 43 Svařovací automat BOKI, vlastní zdroj



Obrázek 44 Pendl (vlevo) a hořák svařovacího automatu, vlastní zdroj

8 Defekty svarových spojů - vady svarů

Vady svarů se dělí do dvou skupin:

- vada: jakákoliv odchylka od dokonalého svaru
- nepřijatelná vada: je vada, která je nepřijatelná
- přípustná vada: je vada, která je přijatelná

Klasifikování vad je dáno normou ČSN EN ISO 6520-1, která je rozděluje do šesti skupin:

- 1 = trhliny (např. podélná, příčná trhlina)
- 2 = dutiny (např. pór, bublina, staženina)
- 3 = pevné vměstky
- 4 = studené spoje a neprůvody
- 5 = vady tvaru a rozměru (např. zápal, vrub, krápník, proláklina, díra)
- 6 = jiné vady (rozstřík, zbytky strusky, stopy po broušení, sekání)

Každá skupina obsahuje dále označení, vysvětlení a zpřesnění jednotlivých vad. [4]

8.1 Nejčastější vady vyskytující se při svařování hliníku

8.1.1 Pórovitost svarů – vznik bublin vodíku ve svaru

Póry většinou vznikají díky přítomnosti vodíku ve svarovém kovu. U hliníku má vodík rozdílnou rozpustnost v tuhém a tekutém stavu. Při teplotách blízkých teplotě tavení je rozpustnost vodíku asi 3,5ml/100g, při teplotě okolo 700[°C] je jeho rozpustnost asi 8,3[ml]/100[g]. V tavné lázni kolem 2000[°C] je rozpustnost vodíku až 50[ml]/100[g]. Při následném chladnutí se musí tedy téměř všechny vodík ze svarového kovu vyloučit, což se ovšem nikdy nepodaří úplně. Vodík se shlukuje do bublin a tvoří póry na povrchu svaru. Čím rychleji dochází k chladnutí svarového kovu, tím více se vytvoří pórů.

Tvorbě pórů se dá zamezit:

- vysušením a očištěním svarových ploch, použitím ochranných plynů o vysoké čistotě

- používat čisté a suché přídavné materiály
- dodržet všechny parametry a podmínky svařovacího procesu
- zajistit optimální přenos kovu v elektrickém oblouku
- dostatečný předehřev a pomalé ochlazení

Metoda MIG je více náchylná k tvorbě pórů oproti metodě WIG. [16]

8.1.2 Praskavost svarů za tepla – horké trhliny

Tuhnutí svarového kovu je doprovázeno objemovými změnami, které spolu s vysokou tepelnou vodivostí a roztažností způsobují ve svaru napětí. Může dojít ke vzniku trhlín, které se tvoří především v poslední svarové vrstvě. Tyto trhliny se nazývají solidifikační. Průběh trhlín je mezikrystalický.

Tvorbě trhlín za tepla se dá zamezit:

- správná volba přídavného materiálu
- volit vhodný svařovací příkon a co nejmenší počet vrstev svaru
- používat předehřev [16]
-

8.1.3 Praskavost svarů za studena

Trhliny za studena se u hliníku vyskytují méně často než za tepla. Rozmezí teplot, při kterých k nim dochází je 200-400[°C]. Průběh trhlín je interkrystalický. [16]

Závěrem k problematice vad svarových spojů lze konstatovat, že dodržení optimálních podmínek během svařování má zásadní vliv na kvalitu svarů. Je nutné věnovat velkou pečlivost přípravě svarových ploch, tj. především odstranění vrstvy Al₂O₃, vysoušení, správnému předehřevu. Rovněž je nevhodné svařovat v průvanu a za větru, kdy dochází k odklonu proudu ochranného plynu od svarové lázně. Tyto podmínky, lze zajistit v dílně, kde svařovací pracoviště jsou vhodně umístěna a oddělena zástěnami.

Zapouzdřené vodiče se svařují v dílně do velikosti tzv. transportních jednotek, tedy dílů o délce max. 12[m]. Z těchto transportních jednotek se pak přímo na elektrárně staví tzv. trasa ze zapouzdřených vodičů, která je dlouhá desítky i stovky metrů. Někdy je celá trasa umístěna v budově, jindy je z části uvnitř budovy

a z části venku, nebo je venku celá trasa. Termíny staveb jsou dány bez ohledu na počasí a povětrnostní podmínky a tak svářeč musí pracovat nejen v průvanu a větru, ale i v dešti, za sněžení a v mrazu. Tyto podmínky jsou z pohledu zajištění kvality svarů velmi nepříznivé. Před svařováním je nutno postavit různé přístřešky nebo stany, které chrání pracoviště svářeče před nepřízní počasí a důsledně dodržovat vysoušení a předehřev a ochrana svarových ploch i okolí svaru.

Ke kvalitě svarů do určité míry přispívají i polohy svařování, ve kterých svářeč pracuje.

Tvar vodiče je kruhový a je nutno jej kvalitně zavařit po celém jeho obvodu. V dílně jsou vodiče svařovány v polohovadle, kdy se vodič během svařování plynule otáčí a svářeč má možnost regulovat rychlost otáčení. Svařování probíhá v poloze PA (nejvhodnější poloha pro tupé svary), popř. mezi polohou PA a polohou PB, tedy z hlediska svařování v ideálních podmínkách.

Na stavbě je situace zcela odlišná. Umístění vodičů je pevně dáno. Svářeč tak často vystřídá různé polohy svařování na jednom svaru. Často pracuje ve stísněných prostorech, které neumožňují dostatečný přístup ke svarovým plochám, natož pak ideální sklon svařovacího hořáku vůči svaru. V těchto případech pak o kvalitním svaru rozhodují nejenom pracovní zkušenosti, ale i zodpovědný přístup svářeče.

8.2 Další problémy při svařování hliníku

- pokles pevnosti ve svaru a v tepelně ovlivněné oblasti TOO
- hůře viditelná tavná lázeň (při stoupající teplotě hliníku se jeho barva nemění)
- rychlý přechod taveniny do tuhého stavu



Obrázek 45 Vady svarů – Zápaly, vlastní zdroj

9 Zkoušky svarů

Zkoušky svarů se dělí do dvou skupin:

- nedestruktivní = bez porušení materiálu, které se většinou provádí u hotových výrobků, nebo výroků v různém stupni rozpracovanosti, tedy v případech kdy není žádoucí, aby došlo k porušení výrobku
- destruktivní = s porušením materiálu, kdy po zhotovení svaru se ze svařované součásti vyrobí zkušební vzorky, jejichž tvar je předepsán normou ČSN EN 12814

Tyto zkoušky posuzují mechanické vlastnosti svaru.

Při výrobě zapouzdřených vodičů, kdy se zhotovuje finální výrobek, se používají pouze zkoušky nedestruktivní. Jsou to:

- vizuální kontrola
- kapilární zkouška
- zkouška tlakem

9.1 Vizuální kontrola

Prohlídka každého svaru zrakem nebo pomocí lupy je základní kontrolou svaru. Podle tvaru a kresby svaru se dá posoudit jeho kvalita a zručnost svářeče. Pouhým okem jsou viditelné povrchové vady (zápaly, povrchové vruby, trhliny) a kořenové vady (neprovařený kořen, krápníky).

Vizuální kontroly jsou levné a rychlé a podle jejich výsledku se rozhoduje o případných dalších kontrolách, především nedestruktivních.

Vizuální prohlídky svarů se provádí vždy při svařování zapouzdřených vodičů na dílně i na stavbách, kde je mnohdy přítomen svařovací dozor ze strany zákazníka. U vícevrstvých svarů se často kontroluje každá vrstva, nebo alespoň její část. Výsledek kontroly se zaznamenává do předávacího protokolu, které jsou součástí montážního návodu. Velmi často se pořizuje i fotodokumentace svarů.

9.2 Kapilární zkouška

Toto zkouškou zjišťujeme povrchové vady, především jsou to trhliny a studené svary. Použitím výrazně barevné kapaliny, tzv. penetrant, kterou se potře povrch svaru. Přebytečná vrstva kapaliny se setře. Svar se přetře bílou indikační látkou. Vzlínáním penetrační látky z vad svarů se v indikační látce zobrazí vady. [4]

9.3 Zkouška tlakem

Tato zkouška se provádí pomocí tlakového vzduchu a roztoku mýdlové vody. Zapouzdřené vodiče se naplní vzduchem na předepsaný tlak, který během pevně dané doby smí poklesnout o max. 50%, tedy na poloviční hodnotu. Při rychlejším poklesu tlaku se hledají místa úniku vzduchu. Všechny svary se přetřou roztokem mýdlové vody. Z prasklin a větších pórů svarů uniká vzduch, tvoří se bubliny, které signalizují vadu.

Zkouška se používá jak ve výrobě, tak i na stavbách, protože je velmi rychlá, jednoduchá, levná a poměrně spolehlivá. Slouží k detekci větších vad u pouzder vodičů.



Obrázek 46 Zkouška tlakem, vlastní zdroj



Obrázek 47 Zkouška tlakem-svár s vrstvou mýdlového roztoku, vlastní zdroj

9.4 Zkoušky prozařováním

Patří ke zkouškám nedestruktivním. Využívá se schopnosti rentgenového záření pronikat materiálem a následně působit na fotografický materiál. Při průchodu hmotou se záření v místech defektů zeslabí, což je rozpoznatelné ve formě skvrny na fotografickém materiálu po jeho vyvolání v temné komoře. [4]

9.5 Příčná zkouška tahem

Patří ke zkouškám destruktivním. Zkušební tyč tvoří vzorek, který je vyříznut napříč svarového spoje. Vzorek je upnut do čelistí trhacího stroje a je plynule zatěžován až do jeho přetržení. Ze zkoušky se provádí grafický záznam ve formě pracovního diagramu. Z diagramu je možné přímo odečíst hodnoty:

- mez kluzu R_e [MPa]
- mez pevnosti R_m [MPa]

Mez kluzu je výrazná u nelegovaných nízkouhlíkových ocelí a projevuje se na začátku plastické deformace podstatně rychlejším prodlužováním zkušební tyče.

U materiálu, kde mez kluzu není tak výrazná, se zavádí smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$. Je to napětí, které u zkušební tyče vyvolá trvalé prodloužení 0,2% její původní délky. [4]



Obrázek 48 Vzorek pro tahovou zkoušku, vlastní zdroj

Metod zkoušek svarů je samozřejmě více a to jak nedestruktivních, tak i destruktivních. V běžné praxi se další zkoušky při kontrole svarů u zapouzdřených vodičů nepoužívají.

10 Kvalifikace svářečů, ochrana zdraví při svařování hliníku

10.1 Označení zkoušek

Budoucí svářeč získá způsobilost ke svařování v přípravném kurzu, který je zakončen teoretickou a praktickou zkouškou. Po jeho absolvování je pracovník oprávněn vykonávat práci dle úrovně absolvovaného kurzu. Následují jednotlivé stupně zkoušek, které lze získat pro metodu 131 (MIG) na svařování hliníku.

1. Kvalifikační zkouška zaškoleného pracovníka = ČSN 05 0705 ZP 131-1 21
2. Kvalifikační zkouška svářeče se základním kurzem svařování = ČSN 05 0705 ZK 131 21
3. Kvalifikační zkouška svářeče s vyšším kurzem svařování = ruční svařování (ČSN EN ISO 9606-2 v odpovídajícím rozsahu pro rozsah a typy svařovaných materiálů) a automatizované a robotizované svařování (ČSN EN 1418 v odpovídajícím výrobním sortimentu)

10.2 Ochrana zdraví při svařování hliníku

„Mezi obecná rizika svařování patří elektrický proud, rozstřík roztaveného kovu, náraz, hluk, škodlivý prach, kouř, výpary, intenzivní světelné a tepelné záření“.
(katalog CleanAir, str. 36)

Ochrana zdraví spočívající v důkladném zakrytí celého těla pomocí speciálních oděvů určených pro svařování, doplněných ochrannými koženými rukavicemi, zástěrami a různými druhy návleků je dnes samozřejmou výbavou svářeče. Rovněž svářečské kukly prošly vývojem a dnes jsou běžně spojeny s filtrační ventilační jednotkou. Díky integrovanému rozvodu vzduchu uvnitř kukly tak svářeč dýchá čistý vzduch. Množství přiváděného vzduchu se dá regulovat podle potřeb svářeče. Do kukly je vzduch přiváděn s mírným přetlakem a tak je zabráněno nasávání škodlivého vzduchu z okolí kukly.

Škodliviny ve vzduchu představují prach, kouře a dýmy. Právě dýmy vznikají při svařování a pájení. *„Jsou to pevné aerosoly, které vznikají zahřátím kovu na teplotu vyšší, než je bod varu a následnou kondenzací v okolním ovzduší“.*
(katalog CleanAir, str. 6)

K nejrizikovějším chemickým látkám poškozujícím lidské zdraví, které se uvolňují v dýmech během svařování (v závislosti na svařovaném materiálu), patří ozon, chrom, nikl, kadmium a olovo.

Provedení filtračních jednotek je různé, ale již základní typy jsou schopny zachytit všechny typy částic (prach, netoxické i toxické dýmy, kapalné i pevné aerosoly, bakterie, viry). Filtr se dá doplnit pachovou vložkou, která zachycuje nepříjemné pachy, které při svařování rovněž vznikají.

Nejméně škodlivin vzniká při svařování hliníku v ochranné atmosféře argonu střídavým proudem, kdy vzniká nejméně ozonu.

Z fyzikálního hlediska při svařování vzniká ultrafialové záření, infračervené záření a intenzivní viditelné teplo.

Ultrafialové záření může poškodit oko, jeho čočku, nebo častěji oční zánět. Dále způsobuje popáleniny nechráněné pokožky.

Infračervené záření není nebezpečné pro svářeče, který je ochráněn svářečskou kuklou a ochranným oděvem.

Intenzivní viditelné světlo je opět velmi dobře odstíněno používáním ochranné svářečské kukly, které jsou vybaveny samostmívacím svářečským filtrem. Rozsah tmavosti je volitelný, většinou od stupně 6 do stupně 13. Doporučené zatmění pro hliník je nejvyšší a to od stupně 10 do stupně 13, při svařování metodou WIG je to stupeň 14.

Svářeč, ale i přihlízející osoby by nikdy neměli sledovat svařovací oblouk bez ochrany očí, jinak hrozí poškození sítnice oka. [9]



Obrázek 49 Svářečská kukla s filtrační jednotkou, vlastní zdroj

11 Porovnání poloautomatického a automatického svařování

Při svařování hliníku a jeho slitin moderní svařovací technologie používají poloautomatické, automatické a robotizované svařování.

Poloautomatické svařování je charakterizováno ručním vedením svařovacího hořáku – pohyb vpřed, který vykonává svářeč.

Při automatickém (strojním) svařování veškeré pohyby svařovacího hořáku vykonává stroj. Obsluha během svařování koriguje podle potřeby svařovací parametry.

Při robotizovaném svařování je naprogramována veškerá činnost stroje.

Výroba vodičů se z pohledu svařování dá rozdělit do tří částí:

- první část spočívá v přípravě svařenců
- ve druhé části se pak jednotlivé části svaří k sobě
- při třetí a poslední fázi dochází k finální úpravě vnějšího povrchu vodiče nátěrem černou barvou

Svařování poloautomatické i automatické probíhá v montážní hale v části vyhrazené pro tuto činnost, tedy za stejných podmínek.

11.1 Příprava jednotlivých dílů ke svaření

Výrobě předchází vždy konstrukční a technologická příprava výroby, jejichž výsledkem je výkresová dokumentace a technologické postupy.

Vodiče do průměru 280[mm] se vyrábí z trubek, od průměru 280[mm] se vyrábí skroužením z plechů dané tloušťky, které jsou předem zastřiženy na přesné rozměry. Po skroužení se podélně svaří přerušovaným tupým svarem oba konce k sobě. Základní moduly jsou dlouhé 2 nebo 3[m]. Příprava pro příčný svar má několik kroků. Nejprve se konce vodičů úkosují, dále následuje vložení podložek svarů, sestavení a bodování modulů v celý vodič. Celková délka vodiče dosahuje maximálně 12[m].

Sestavování vodiče se uskutečňuje v otočném svařovacím polohovadle. Polohovadla pro automatické i poloautomatické svařování jsou funkčně podobná, v obou případech se jejich seřízení provádí ručně.

Z výše uvedeného plyne, že přípravné práce pro oba postupy svařování probíhají za stejných podmínek, jak z hlediska pracnosti, tak i časové náročnosti.

Manipulace s vodiči je z časového hlediska také naprosto stejná. V obou případech je závislá na jednom ze čtyř mostových jeřábů instalovaných ve výrobní hale, které jsou k dispozici pro všechna pracoviště.



Obrázek 50 Sestavený a nabodovaný vodič, vlastní zdroj

11.2 Svařování

Svářeč před započítím je povinen seznámit se s technologickým a svařovacím postupem (WPS). Zde je popsán postup provedení daného svaru. Oba technologické postupy je nutné dodržovat.

Vlastní svařování můžeme opět rozdělit na několik operací. První operací je mechanické očištění místa budoucího svaru drátěným ocelovým kartáčem. Pro tloušťky svařovaného materiálu od 10[mm] výše pak následuje předehřev pomocí propan-butanového hořáku. Teplotu svářeč kontroluje kontaktním dotykovým teploměrem. Ohřev i očištění základního materiálu v místě svaru musí být rovnoměrné a stejně provedené po celém obvodu vodiče. K tomu výrazně pomáhá plynulé otáčení vodiče, který je po celou dobu svařování upnut ve sklíčidle polohovadla. Polohovadla jsou poháněna elektromotorem. Ohřev vodičů velkých průměrů je usnadněn tím, že nahřívací hořák je uchycen ve stojánku a svářeč pouze dozoruje tuto operaci a zároveň kontroluje teplotu, aby byla v předepsaném rozmezí.

Měření a sledování průběhu svařování bylo provedeno na stejných vodičích. Průměry a tloušťky svařovaných modulů byly: 220x12, 360x12 a 760x12[mm]. Ve všech případech byly prováděny třívrstvé svary.

11.3 Ruční poloautomatické svařování

Při ručním poloautomatickém svařování hlavní pohyb hořáku vpřed provádí svářeč. Vodič je uchycen v polohovadle a svářeč si sešlápnutím pedálu reguluje rychlost otáčení podle své individuální potřeby. Polohovadlo se tak otáčí rychlostí shodnou se svařovací rychlostí ručního posuvu hořáku. Takto je zajištěno dodržení předepsané svařovací polohy podle WPS, tedy polohy PA – vodorovné shora. Svářeč postupně klade jednotlivé vrstvy svarů, jejichž počet je dán tloušťkou vodiče a je rovněž specifikován ve WPS. Mezi jednotlivými vrstvami se kontroluje teplota přehřevu.

11.4 Tabulky s naměřenými časy pro ruční poloautomatické svařování

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	01:20
2	Nahřátí	01:10
3	1. vrstva	01:37
4	Přestávka	00:38
5	2. vrstva	02:20
6	Přestávka	00:40
7	3. vrstva	04:06
8	Očištění	02:15
9	Přestávky celkem	01:18
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	08:03
11	Celkový čas všech operací	14:09

Tabulka 1 Svařování vodiče D220x13[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	01:25
2	Nahřátí	01:02
3	1. vrstva	01:51
4	Přestávka	00:46
5	2. vrstva	03:51
6	Přestávka	01:28
7	3. vrstva	05:32
8	Očištění	02:20
9	Přestávky celkem	02:12
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	10:14
11	Celkový čas všech operací	17:53

Tabulka 2 Svařování vodiče D220x13[mm] – druhé měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	02:35
2	Nahřátí	02:50
3	1. vrstva	05:47
4	Přestávka	01:47
5	2. vrstva	08:20
6	Přestávka	02:10
7	3. vrstva	12:30
8	Očištění	03:50
9	Přestávky celkem	03:57
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	26:37
11	Celkový čas všech operací	39:17

Tabulka 3 Svařování vodiče D360x12[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	02:25
2	Nahřátí	02:30
3	1. vrstva	05:26
4	Přestávka	01:47
5	2. vrstva	07:55
6	Přestávka	02:20
7	3. vrstva	12:08
8	Očištění	04:03
9	Přestávky celkem	04:07
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	25:29
11	Celkový čas všech operací	38:34

Tabulka 4 Svařování vodiče D360x12[mm] – druhé měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	04:45
2	Nahřátí	07:40
3	1. vrstva	12:36
4	Přestávka	05:15
5	2. vrstva	17:34
6	Přestávka	06:20
7	3. vrstva	21:28
8	Očištění	05:03
9	Přestávky celkem	11:35
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	51:38
11	Celkový čas všech operací	80:05

Tabulka 5 Svařování vodiče D760x12[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	05:35
2	Nahřátí	07:10
3	1. vrstva	13:48
4	Přestávka	05:30
5	2. vrstva	19:18
6	Přestávka	06:50
7	3. vrstva	23:16
8	Očištění	05:45
9	Přestávky celkem	12:20
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	56:22
11	Celkový čas všech operací	87:55

Tabulka 6 Svařování vodiče D760x12[mm] – druhé měření



Obrázek 51 Druhá a třetí vrstva svaru, vlastní zdroj

11.4.1 Strojní automatické svařování

Při strojním automatickém svařování všechny pohyby svařovacího hořáku koná stroj, podle předem naprogramovaných hodnot. Před svařováním svářeč nastaví všechny svařovací parametry pomocí programu uloženého pod číslem programu v paměti programovací jednotky. Číslo programu pro každou vrstvu svaru je uvedeno v příslušné WPS. Svařování probíhá v poloze PA – vodorovné shora. Jednotlivé vrstvy svarů jsou opět kladeny postupně, jejichž počet je dán tloušťkou vodiče a je rovněž specifikován ve WPS. Mezi jednotlivými vrstvami se kontroluje teplota přehřevu.

Svářeč může regulovat svařovací rychlost, posuv svařovacího drátu, a rozsah pendlu (šířky svaru) pomocí dálkového ovladače, pokud je to z technologického důvodu nutné. Dnes jsou pro standardně vyráběné průměry a tloušťky vodičů všechny parametry svařování odzkoušené a v ideálním případě korekce během

svařování nejsou nutné. Vzhledem k tomu, že veškerá výroba je nastavena na velmi hrubé tolerance, tak ne vždy je sestavení vodičů perfektní, většinou je větší mezera mezi jednotlivými moduly. Pak první vrstvu svářeč musí hlídat a ručně korigovat především velikost proudu, aby nedošlo k propálení podložky. Druhou vrstvu svářeč rovněž hlídá a většinou koriguje šířku svaru, tak aby došlo k natavení materiálu v celém průřezu. Třetí vrstva je krycí a tu už svářeč většinou korigovat nemusí.

Tyto korekce však v konečném důsledku nemají prakticky žádný vliv na navýšení svařovacího času oproti ideálnímu průběhu svařování, tedy bez korekcí.

Operátor pozoruje svar přes ochranný štít a během svařování nemusí používat žádné ochranné pomůcky, které jsou nutné u ručního svařování.



Obrázek 52 Pozorování a ruční korekce při strojním svařování, vlastní zdroj

11.4.2 Strojní automatické svařování

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	01:20
2	Nahřátí	01:10
3	1. vrstva	01:22
4	Přestávka	00:40
5	2. vrstva	02:35
6	Přestávka	00:40
7	3. vrstva	03:20
8	Očištění	02:05
9	Přestávky celkem	01:20
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	07:17
11	Celkový čas všech operací	13:12

Tabulka 7 Svařování vodiče D220x13[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	01:23
2	Nahřátí	01:02
3	1. vrstva	01:23
4	Přestávka	00:40
5	2. vrstva	02:33
6	Přestávka	00:40
7	3. vrstva	03:21
8	Očištění	02:05
9	Přestávky celkem	01:20
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	07:17
11	Celkový čas všech operací	13:07

Tabulka 8 Svařování vodiče D220x13[mm] – druhé měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	02:35
2	Nahřátí	02:50
3	1. vrstva	04:55
4	Přestávka	01:35
5	2. vrstva	07:10
6	Přestávka	02:15
7	3. vrstva	10:50
8	Očištění	03:50
9	Přestávky celkem	03:50
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	22:55
11	Celkový čas všech operací	36:00

Tabulka 9 Svařování vodiče D360x12[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	02:30
2	Nahřátí	02:40
3	1. vrstva	04:52
4	Přestávka	01:40
5	2. vrstva	07:12
6	Přestávka	02:10
7	3. vrstva	10:47
8	Očištění	03:50
9	Přestávky celkem	03:52
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	22:51
11	Celkový čas všech operací	35:41

Tabulka 10 Svařování vodiče D360x12[mm] – druhé měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	05:00
2	Nahřátí	06:40
3	1. vrstva	08:05
4	Přestávka	05:15
5	2. vrstva	10:10
6	Přestávka (ochlazení svaru)	15:00
7	3. vrstva	15:05
8	Očištění	05:35
9	Přestávky celkem	20:15
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	33:20
11	Celkový čas všech operací	70:50

Tabulka 11 Svařování vodiče D760x12[mm] – první měření

Operace číslo	Popis činnosti	Čas [min]
1	Očištění	05:10
2	Nahřátí	06:30
3	1. vrstva	08:10
4	Přestávka	05:20
5	2. vrstva	10:15
6	Přestávka (ochlazení svaru)	15:00
7	3. vrstva	15:00
8	Očištění	05:15
9	Přestávky celkem	20:20
10	Celkový čas vlastního svařování (operace 3+5+7)	33:25
11	Celkový čas všech operací	70:40

Tabulka 12 Svařování vodiče D760x12[mm] – druhé měření



Obrázek 55 První vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj



Obrázek 53 Druhá vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj



Obrázek 54 Třetí vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj

Další úprava svařeného vodiče spočívá v jeho povrchové úpravě nátěrem černou barvou. Obrázky č. 56 a 57 ukazují, že i po nátěru černou barvou je zřetelně

poznat, který svar je proveden ručním svařováním a který je svařen na automatu pomocí strojního svařování.



Obrázek 57 Ruční svar, vlastní zdroj



Obrázek 56 Strojní svar, vlastní zdroj

11.4.3 Zhodnocení časové náročnosti a kvality obou metod svařování

Předehřátí základního materiálu probíhá stejným způsobem a sledované časy jsou prakticky stejné.

Přestávky u menších průměrů jsou rovněž přibližně stejné. U průměru 760[mm] je přestávka u automatického svařování mezi 2. a 3. vrstvou svaru delší z důvodu nutnosti ochlazení svaru na předepsanou teplotu. I tak je vidět, že celkový čas automatického svařování je podstatně kratší, oproti svařování ručnímu.

Z provedených pozorování i časových měření se u ručního svařování ukazuje, že s rostoucím počtem svarů výkonnost svářeče klesá. Svářeč nevydrží svařovat stále stejným tempem jako na začátku směny, po určité době se projeví únava. Rovněž dlouhé svary není schopen zavařit vcelku a i během svařování jedné vrstvy dělá krátké přestávky. Toto se zvláště projevilo u průměru 760[mm].

Naopak časy automatického svařování se prakticky neliší a jsou téměř stejné.

Kvalita i rychlost ručního svařování závisí ve značné míře na schopnostech, zručnosti, umu, délce praxe, ale i osobního přístupu každého svářeče. Jako v každé profesi i svářeč po absolvování základního kurzu se zdokonaluje a zlepšuje. Přesto ze zkušeností pracovníků svářečské školy v EGE, spol. s r. o. vyplývá, že až 30% svářečů se hliník a jeho slitiny nenaučí nikdy kvalitně a dobře svařovat.

U strojního svařování vliv lidského faktoru na kvalitu svaru téměř odpadá, obsluha (operátor) je po zaškolení schopen každý svar provést prakticky ve stejné kvalitě i stejném čase. Navíc u jeho práce nenastává během pracovní směny zvýšená

únava takovou měrou, jako je tomu u svařování ručního, protože jeho práce spočívá především v kontrole průběhu svařování. Vlastní svařování stroj vykonává sám.

11.4.4 Zhodnocení kvality svarů pro metodu svařování 131-MIG strojní automatické svařování

Před samotnými zkouškami bylo nutné připravit vzorky ke zkouškám, tak aby odpovídaly zkušební normě ČSN EN ISO 15614-2 .

Na základě výsledků zkoušek se vystavuje protokol o kvalifikaci postupu svařování – WPQR (welding procedure qualification record), který potvrzuje, že zkušební svary byly připraveny, svařovány a zkoušeny podle daného předpisu (zkušební normy). Tento protokol může vydávat pouze inspekční orgán, který má akreditaci pro inspekci v oblasti svařování kovových konstrukcí.

Protokol se vydává pro určitou metodu svařování, typ spoje a svaru, druh základního materiálu, včetně rozsahu jeho tlouštěk i minimálních rozměrů (např. u trubky je to min. průměr). Dále se specifikuje rozsah velikostí svaru, zda se jedná o jednovrstvé nebo vícevrstvé svařování, druh přídavného materiálu, ochranného plynu, druh svařovacího proudu a jeho polarita, teploty předehřevu i polohy svařování.

Všechny výsledky zkoušek musí být vyhovující a v protokolu toto musí být zřetelně vyznačeno.

V našem případě byl protokol WPQR vydán na základě předchozího provedení nedestruktivních a destruktivních zkoušek s vyhovujícími výsledky.

Nedestruktivní zkoušky:

- vizuální kontrola
- penetrační zkouška
- zkouška prozáření

Destruktivní zkoušky:

- příčná zkouška tahem
- kontrola makrostruktury

Zkoušky byly provedeny v akreditovaných zkušebních laboratořích ve Vítkovicích (Vítkovice testing centre, s.r.o.) a v Chomutově (Materiálové laboratoře Chomutov s.r.o.).

11.4.5 Zkušební vzorky pro tahovou zkoušku

Touto zkouškou se zjišťuje pevnost materiálu, která musí vyšší než minimální pevnost daného materiálu.

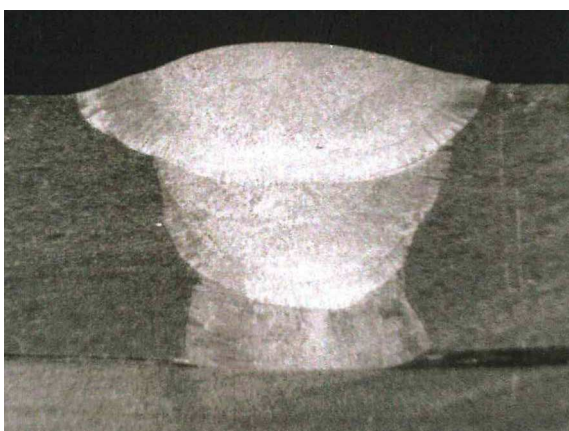
Vzorky hliníku a jeho slitin pro tahovou zkoušku mají obdélníkový tvar o rozměrech dřívku 25,1x13 [mm]. Vzorek před tahovou zkouškou je na obrázku č. 49 a po tahové zkoušce na obrázku č. 58, kde je zřetelně vidět jeho zúžení – vytvoření tzv. krčku a následné přetržení v tomtéž místě.



Obrázek 58 Vzorek po zkoušce tahem, vlastní zdroj

11.4.6 Zkušební vzorky pro makro

Touto zkouškou se po příslušném zvětšení na stereomikroskopu vyhodnocuje například velikost pórů ve svaru, která nesmí v našem případě překročit průměr 0,1[mm] a další vady.



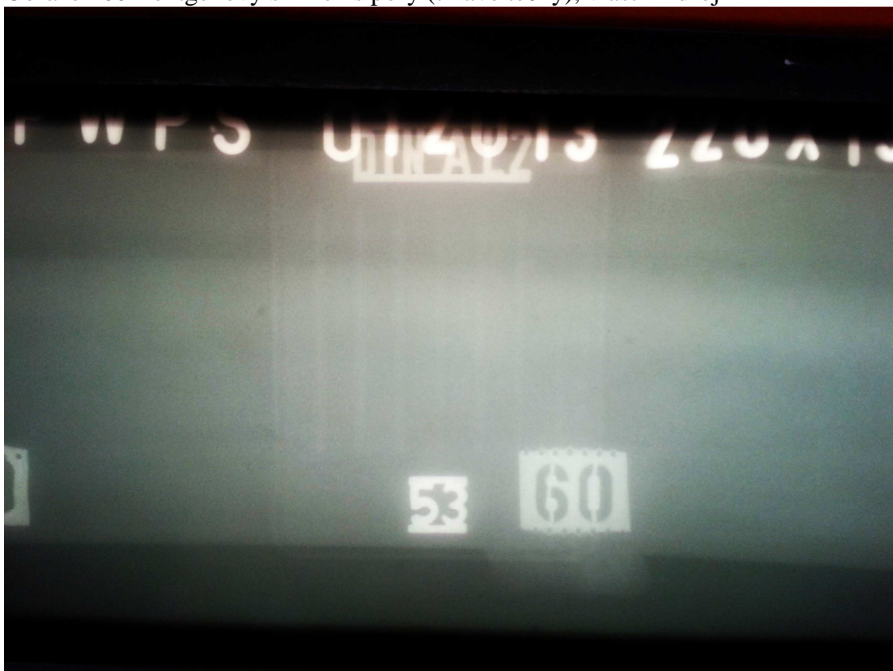
Obrázek 59 Snímek z makro zkoušky, vlastní zdroj

11.4.7 Zkouška prozáření

Na snímku vzorku, obrázek č. 60, který vyšel jako nevyhovující je zřetelný shluk pórů v podobě černých teček. Na obrázku č. 61 je pak vidět čistý snímek, bez teček, který značí správně provedený svar bez vad.



Obrázek 60 Rentgenový snímek s póry (tmavé tečky), vlastní zdroj



Obrázek 61 Rentgenový snímek bez vad, vlastní zdroj

Závěr

Výroba ve společnosti EGE, spol. s r. o. je velmi vytížena, mnohdy objem zakázek přesahuje její kapacitu. Přesto se povedla zrealizovat měření délky svařování ručním i strojním způsobem u vodičů tří různých průměrů (220x13, 360x12 a 760x12 [mm]), které velice dobře charakterizují spektrum vyráběných rozměrů, od vodiče malého, středního a velkého průměru.

Během zkoušení a ověřování různých pracovních postupů, hledání vhodného nastavení stroje a svařovacích parametrů operátoři (svářeči) i svařovací dozor postupně získávali cenné zkušenosti a poznatky.

V současné době se strojní automatické svařování na automatu BOKI podílí téměř 100% na svařování příčných svárů u přímých vodičů. Oproti ručnímu svařování je kvalita i rychlost prováděných svarů na automatu BOKI vyšší a vyznačuje se především udržením stability kvality svarů.

Poznatky plynoucí ze sledování ručního a strojního svařování:

- a) Centrální odsávání umístěné pod střechou nedostatečně odsává dýmy a kouře vznikající při ručním svařování. Naopak svařovací automat je vybaven vlastní výkonnou odsávací stanicí s vysokou účinností.
- b) Svařovna je umístěna uprostřed haly a větrání způsobuje průvan, který narušuje správné proudění ochranného plynu při svařování.
- c) Rozmístění zástěn nedostatečně odděluje zámečnická pracoviště.
- d) Čtyři mostové jeřáby umístěné na jedné pojezdové dráze v úzké a dlouhé hale si navzájem překáží v plynulém provozu.
- e) Při rozpracování velké zakázky nebo několika zakázek najednou schází vhodné a dostatečně velké skladovací prostory pro rozpracované výrobky.
- f) Umístění svařovacího automatu blízko u stěny znemožňuje instalaci druhé svařovací stanice (polohovadla). Otočné rameno automatu tím není využito a nelze tedy pracovat v režimu: na jednom pracovišti svařovat a na druhém současně sestavovat svařenec (vodič) před jeho svařením.

Doporučení a opatření:

- a) Souhrnným opatřením pro vyřešení nebo alespoň zlepšení výše uvedených problémů je výstavba nové moderní a široké haly, ve které bude odděleno svářečské pracoviště od zámečnického a montážního pracoviště. Každé toto

pracoviště pak vybavit vlastní pojezdovou dráhou s dostatečným počtem mostových jeřábů. Ve svařovně pak instalovat účinné odsávání.

- b) Ke svařovacímu automatu nainstalovat z obou jeho stran svařovací stanice (polohovadla) a tím plně využít jeho výrobní kapacitu.
- c) Sledovat vývoj a pokrok v oblasti svařování hliníku a jeho slitin s důrazem na využití nových metod, např. Friction Stir Welding – FSW, při kterém nevznikají žádné nebezpečné dýmy a kouře a tím přispět k ochraně zdraví svářečů i k ochraně životního prostředí.

Vyhodnocení stanovených cílů a přínos práce:

- a) Z pohledu teoretického bakalářská práce přibližuje problematiku svařování hliníku na konkrétním pracovišti a výrobku a poskytuje ucelený pohled nejen na vlastní svařovací metody. Zabývá se také technickou dokumentací, značením svarů, přípravou svarových ploch, vlastním průběhem svařování, kontrolou a defekty svarů i kvalifikací a ochranou zdraví svářečů.
- b) Z hlediska pedagogického jsou jednotlivé kapitoly tematicky řazeny tak, aby na sebe navazovaly v logickém sledu. Zároveň jsou přehledné a srozumitelné. Z didaktického pohledu práci doprovází množství obrázků s popisem nebo jejich rozbořením, které názorně dokreslují témata jednotlivých kapitol. Přílohy pak dávají představu o potřebné dokumentaci, která je podle současně platných norem nutná pro výrobu svařenců (dále jen vodičů).
- c) Z pohledu praktického, úspěšné svaření vodiče o průměru 220x13[mm] strojním způsobem, získání vzorků pro nedestruktivní a destruktivní zkoušky a jejich vyhovující výsledky vedly k certifikaci strojního automatického svařování. Zároveň došlo k porovnání časové náročnosti ručního svařování oproti strojnímu svařování a prokázání předpokladu, že strojní svařování je rychlejší a kvalitnější.

Podle mého názoru se v práci podařilo dosáhnout všech v úvodu vytyčených cílů.

Použité zdroje informací

[1] Kolektiv autorů, Technologie svařování a zařízení, ZEROSS - svářečské nakladatelství, Ostrava: srpen 2001, ISBN 80-85771-81-0.

[2] BARTOŠ J., BERNAS J., VEINBERG J., Obloukové svařování, ZEROSS, Ostrava: 1994, ISBN 80-85771-21-7.

[3] MINAŘÍK V., Obloukové svařování, Scientia, spol. s r. o., pedagogické nakladatelství, Praha: 1998, ISBN 80-7183-119-0.

[4] MALINA Z., NÉMA M., Základní kurz svařování ZK 141 W 21, ZEROSS - svářečské nakladatelství, Ostrava: 2004, ISBN 80-86698-02-5.

[5] ČSN EN ISO 4063, Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha: 2010.

[6] ČSN EN ISO 6947, Svařování a příbuzné procesy – Polohy svařování, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha: 2011.

[7] ČSN 05 0000, Zváranie kovov – Základné pojmy, Vydavateľství ÚNM, Praha: 1987.

[8] FRONIUS INTERNATIONAL GMBH, Návod k obsluze – Seznam náhradních dílů, Svařovací zdroj MIG/MAG, 42.0426.0001.CS 022010.

[9] MALINA – Safety s.r.o., Katalog CleanAIR, For Safe Breathing.

[10] BOKI ROBOTIZOVANÉ SYSTÉMY, spol. s r. o., Návod k obsluze, Svařovací automat BKM/BRP.

Internetové zdroje:

[11] URL: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2011-2_Historie%20tavného%20svařování%20kovů%202011.pdf

[12] URL: <http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/hlinik.pdf>

[13] URL: http://www.alucad.cz/public/var/files/file_109.pdf

[14] URL: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/AITrendy1_2007.pdf

[15] URL: http://www.haasmont.cz/files/OchrAtmHlinik1_2007.pdf

[16] URL:

<http://automig.cz/fileadmin/pub/doc/pdf/Sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD%20hlin%C3%ADku.pdf>

Seznam příloh:

Příloha č. 1 Inspekční certifikát č. MEC 13199/11	91
Příloha č. 2 Inspection certificate number: 110143455/010/001	92
Příloha č. 3 Detail z výkresu č. 3-505497-H	93
Příloha č. 4 Specifikace postupu svařování - WPS-01/99 AI	95
Příloha č. 5 Specifikace postupu svařování - WPS 82/2011 AI	97
Příloha č. 6 Vodič nuly - část výkresu s vyznačením svarů	98

ALINVEST	AL INVEST BŘIDLIČNÁ, a.s. Bruntálská 167, 793 51 Břidličná, Czech Republic Tel.: +420 554 22 1111 Fax: +420 554 22 2700 www.alinvest.cz e-mail: info@alinvest.cz	Strana/ Page/ Blatt 2 z 11 - 1 - 6 <i>17999</i>
----------	---	---

ČSN EN ISO 9001:2009	Inspekční certifikát/ Inspection certificate/ Abnahmeprüfzeugnis 3.1. ČSN EN 10 204	Dokument č./ Document No./ Dokument Nr.: MEC 13199/11
-------------------------	--	---

Příjemce/Customer/Käufer : EGE spol. s r.o.	Zakázka č./ Order No/ Bestellung Nr.: 8118101	Kontrakt č./ Order No Customer/ Auftragsbetätigung : 87999	Výrobek/Product/ Erzeugnisform : AI SHEETS
Specifikace/ Specification acc standards/ Ausführung der Ware : EN 485-2 EN AW-1050A (Al99,5) H24 EN 485-4,573-3, PN 427305	Množství/ Quantity/ Anzahl : (Netto) <i>20ks</i>	Rozměr/ Dimensions/ Abmessung (mm) : 4 x 2005 x 3050	

Výsledky mechanických zkoušek/ Results of mechanical tests/ Prüfungsresultate

Zkouška č. Test No Probe Nr.	Tavba č. Cast No Schmelz. Nr.	Pás č. Coil No Bänd Nr.	Rm MPa	Rp0,2 MPa	A50 %	A10 %
16891	G 2417		144	135,9	11,6	6,1

Chemický rozbor/ Chemical analysis/ Chemische Analyse

Zkouška č. Test No Probe Nr.	Tavba č. Cast No Schmelz. Nr.	Al	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Ti	Zn	Cr
16891	G 2417	99,58	0,0027	0,0142	0,0078	0,0658	0,2813	0,0140	0,0058	0,0013

Poznámky :

1-3 TP-014.03

Tímto způsobem zaručujeme, že výše popsaný materiál byl testován a vyhovuje podmínkám zakázky dle smlouvy.
We hereby that the material described above has been tested and complies with the terms of order contract.
Auf diese Weise wir beweisen, dass dieses Material beschreiben höher war getestet und ist entsprechend mit die Bedingungen den Auftrag des Kontraktes.

Datum vystavení Date Ausstellungs datum 21.6.2011	Zkoušku provedl Test carried out by Probe hat durchgeführt Lysiková Miroslava technician of laboratory	Atestace Engineering inspektion Technische Kontrolle	Vystavil Issued by Es hat ausgestellt Mervová Anna quality officer
--	--	--	--

ALINVEST

AL INVEST Břidličná, a.s.
Bruntálská 167 / CZ-793 51 Břidličná / Czech Republic
IK: 273 70 194 / KS Ústava, B.č. 040 / www.alinvest.cz



Constellium Extrusions Děčín s.r.o.
Ústecká 37
CZ 405 35 Děčín 5

Phone: +420 412 510 220
Fax: +420 412 510 226
E-mail: sales.decin@constellium.com

96730

2.1.3-1

Constellium Extrusions Děčín s.r.o.
Ústecká 37
405 35 Děčín 5
CZECH REPUBLIC
EGE S. R. O.
NOVOHRADSKÁ 34
CZ-370 08 ČESKÉ BUDEJOVICE

Your Order No. : 96730
Order Date : 20.01.2012
Your Material No. : -
Your Drawing No. : -
Your Specification :

Our Order No. : 62298 / 10
Our Material No. : 100017849
Description : Tyč plochá lisovaná(mm) :
120,000x25,000
Délka (mm):4000,00
Alloy, Temper : E-AlMgSi0,5 F17 - DIN 1725
Norms : DIN1770, DIN40501
Responsible : Ing. Z. Rameš - quality manager

Inspection Certificate EN 10204 3.1
Number: 110143455 / 010 / 001

Issue Date : 28.02.2012
Batch No. : 1675886001
Delivery No. : 110143455
Quantity : 525KG
Page : 1 / 1

Characteristic	Unit	Value	Minimum	Maximum
----------------	------	-------	---------	---------

Chemical Composition (Melt Batch No.:K2143, Inspection No.: 30000150150)

Element	Unit	Value	Minimum	Maximum
Si	%	0,47	0,30	0,6
Fe	%	0,19	0,10	0,30
Cu	%	0,01	-	0,05
Mn	%	0,02	-	0,05
Mg	%	0,43	0,35	0,6
Cr	%	-	-	-
Ni	%	-	-	-
Zn	%	0,01	-	0,10
Ti	%	-	-	-
Ga	%	-	-	-
V	%	-	-	-
Others each	%	0,01	-	0,03
Others total	%	0,03	-	0,10

Mechanical properties (Batch No.:1675886001, Inspection No.:30000153510)

Property	Sample	Unit	Value	Minimum	Maximum
Rm	Sample 1	MPa	203	170	220
Rp0,2	Sample 1	MPa	174	120	-
A	Sample 1	%	19	10	-
HBW	Sample 1		65	45	65
el.conductivity	Sample 1	MS/m	32,3	32,0	-

Certified acc. to ISO 9001:2008 ISO / TS 16949:2009 EN ISO 14001 OHSAS 18001

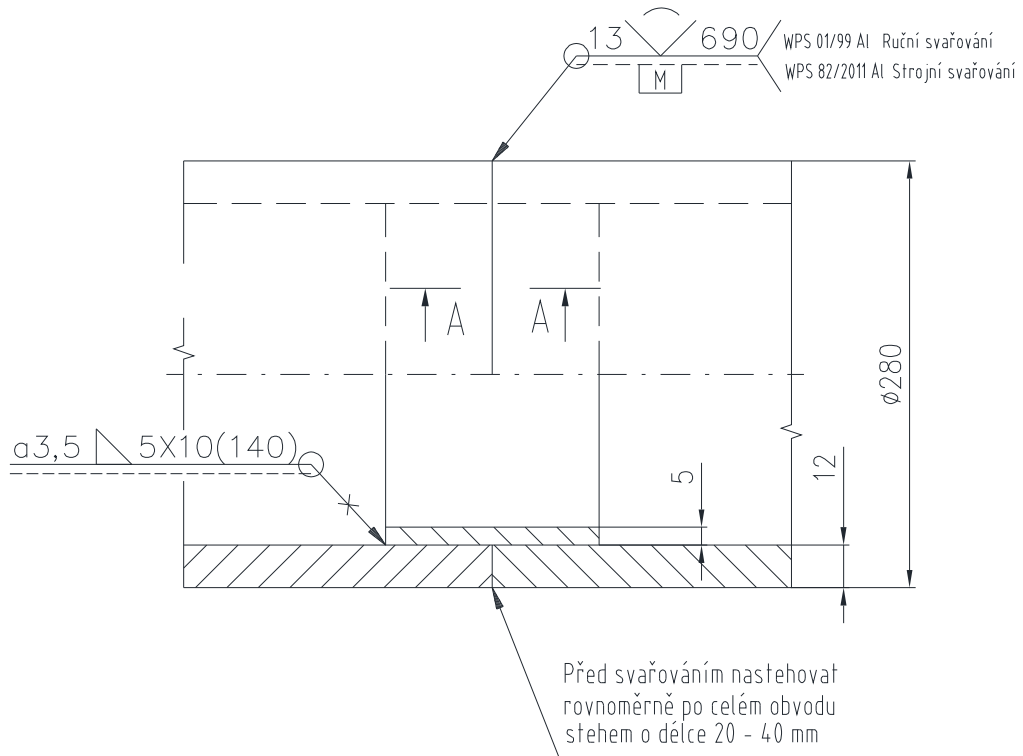
The material conforms to customer's request as confirmed by the supplier on order confirmation.
This document was made electronically and is valid without signature.

Yours faithfully
Constellium Extrusions Děčín s.r.o.

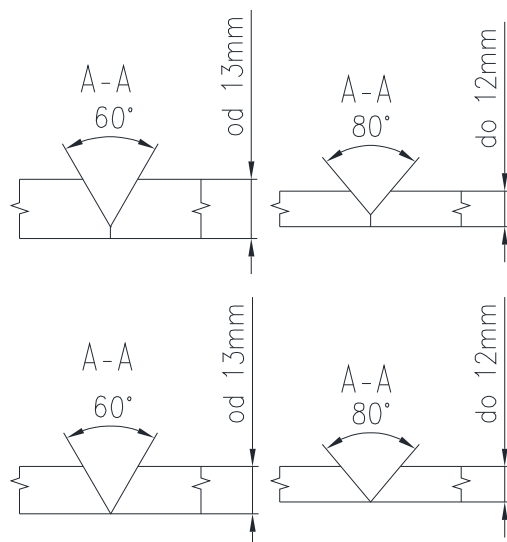
Agents of company: Philippe Hoffmann, Ing. Jiří Palma
Confidential clerks of company: Ing. Luboš Jáněský, Ing. Josef Kreuter, Ing. Jan Šípa
Company is listed in Business register at Regional court Ústí n. Labem, section C, Enclosure 301

Příloha č. 2 Inspection certificate number: 110143455/010/001

Provedení Ruční nebo strojní svařování	Vodič DxS (mm)	n	n1	Materiál vodiče DxS	Číslo WPS Ruční svařování	Číslo WPS Strojní svařování
	220x13	5	130	E-Al99,5	WPS 01/99 Al	WPS 82/2011 Al



Přezkoumal	Ing. Petr Pavel
Útvar	Technologie svařování Svářečský dozor
Norma	ČSN EN ISO 14731 ČSN EN ISO 3834-2
Datum	30.11.2011
Evid. číslo	3-505474-H EGE



Svary
 svařeno na stavbě

× přídavný materiál
 přídavný materiál
 přídavný materiál

ČSN EN ISO 18273	
Chemicky	Číselně
S Al 99,7 / Al 99,5	S Al 1070
S AlSi5/AlSi5(A)	S Al 4043/Al 4043(A)
S AlMg5Cr(A)	S Al 5356/Al 5356(A)

Svary přenášející elektrický proud musí mít průřez svaru roven minimálně průřezu svarovaného materiálu

Příloha č. 3 Detail z výkresu č. 3-505497-H

EGE spol. s r.o.	Specifikace postupu svařování - WPS	Účinnost od: 20.02.2012	
WPS číslo: WPS 01/99 AI		Strana: 1/2	Revize: 0
Výrobek: Ruční svaření vodiče a pouzdra tupým obvodovým V svarem na neodstranitelné podložce Přímý spoj			

ROZDĚLOVNÍK

Středisko	20500, 43310, 43320, 43600, 43610, 43620, 43630, 43690, 43610/402, 43620/422, 43630/S402
-----------	--

ZÁKLADNÍ DATA

Výrobce WPS: ČSN EN ISO 15609-1	EGE, spol. s r.o.
Zkušební organizace WPQR: ČSN EN ISO 15614-2	IO ŠKOLA Welding s.r.o. Plzeň

svařovaný základní materiál T1, T2

Specifikace	Trubka nebo plech
Jakostní značení	ČSN EN 573-3: EN AW - Al 99,5
Tloušťka stěny: S (mm)	6 ≤ S ≤ 25 viz výkresová dokumentace
Vnější průměr: D (mm)	120 ≤ D ≤ 1660 viz výkresová dokumentace

NEODSTRANITELNÁ PODLOŽKA T3

Specifikace	Trubka nebo plech
Jakostní značení	ČSN EN 573-3: EN AW - Al99,5
Rozměr: Tloušťka x šířka (mm)	5 x 60 viz výkresová dokumentace
Průměr: E (mm)	94 ≤ E ≤ 1634 viz výkresová dokumentace
Obvodová délka: Z (mm)	278 ≤ Z ≤ 5117 viz výkresová doku

PŘÍDAVNÝ MATERIÁL – DRÁT SVAŘOVACÍ – STANDARDNÍ BALENÍ

Jakostní značení	ČSN EN ISO 18273: Al 99,5 Ti. S Al 1450
Skladovací vlhkost (%)	Maximálně 60
Skladovací teplota (°C)	Minimálně 15
Číselné označení	Materiale: Alloy 1450
Hmotnost cívky (Kg)	7

OCHRANNÝ PLYN

Jakostní značení	ČSN EN ISO 14175: I1
Obchodní označení Linde Gas a.s	Ar 5.0 nebo Ar 4.8 nebo Ar 4.6
Chemické složení	Argon 99,999% nebo Argon 99,998% nebo Argon 99,996%
Průtočné množství plynu na výstupu z hubice M (l/min)	18 ≤ M ≤ 22

SVAŘOVACÍ PROCES

Technologie svařování	Poloautomatické svařování v ochranné atmosféře inertního plynu
Svařovací metoda	ČSN EN ISO 4063: 131 - MIG
Typ svaru	Obvodový tupý V svar na neodstranitelné podložce
Velikost svaru pro tupý V svar: S (mm)	S = tloušťka stěny S (skutečná velikost svaru + převýšení svaru)
Délka svaru pro tupý V svar: L (mm)	Obvodový: 377 ≤ L ≤ 5215 viz výkresová dokumentace
Povrch svaru	Neopracovaný
Způsob svařování	mb: svařování na podložce: ČSN EN ISO 9606-2 ss: jednostranné svařování: ČSN EN ISO 9606-2 S: s přídatným materiálem: ČSN EN ISO 9606-2
Požadovaná velikost úkosu pro tupý V svar: u (°)	80 pro 6 ≤ S ≤ 12 viz výkresová dokumentace 60 pro 13 ≤ S ≤ 25 viz výkresová dokumentace
Průběh úkosu pro tupý V svar: u (°)	A - A = 80 / 60 B - B = 80 / 60 C - C = 45
Svarová hrana: c (mm)	0 ≤ c ≤ 2 viz výkresová dokumentace
Svarová mezera: b (mm)	0 ≤ b ≤ 2 viz výkresová dokumentace
Hloubka maximálního neprůvaru: h (mm)	ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) a zároveň h ≤ v
Výška převýšení svaru: v (mm)	ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) a zároveň h ≤ v
Značení svarů na výkresu	ČSN EN 22553
Příprava svarových ploch	ČSN EN ISO 9692-3

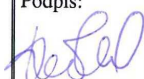
POLOHA SVAŘOVÁNÍ

Poloha svařování: svařování v polohavadle	ČSN EN ISO 6947: PA: vodorovná shora
---	--------------------------------------

PROHLÁŠENÍ O SCHODĚ – TYP INSPEKČNÍHO DOKUMENTU

Základní materiál	ČSN EN 10 204: minimálně 2.2
Přídatný materiál: drát svařovací	ČSN EN 10 204: minimálně 2.2

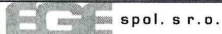
svařecký PERSONÁL

Vypracoval: Ing. Pavel Kálal	Podpis:	Razítko:	Vypracováno: 18.02.2012
Titul: Evropský a mezinárodní svařecký inženýr: ČSN EN ISO 14731			Nahrázuje / Ruší:
Útvar: Technologie svařování - Svařecký dozor			WPS 01/99 ze dne 21.7.1999
Protokol o kvalifikaci postupu svařování: WPQR 19/2009			



EGE spol. s r. o.		Specifikace postupu svařování - WPS		Účinnost od: 20.02.2012			
WPS číslo: WPS 01/99 AI				Strana: 2/2	Revize: 0		
PŘEDEHŘEV / TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ							
Předehřev základního materiálu (°C) Nahřívací plyn pro předehřev Rychlost ohřevu Interpass (°C): maximální mezivrstevní teplota Dohřev po svařování Způsob chlazení svaru Tepeelné zpracování po svařování			Ne pro $6 \leq S \leq 10$ mm, 80 - 120 pro $11 \leq S \leq 12$ mm, 120 - 150 pro $13 \leq S \leq 25$ mm Propan - butan Plynulý po celém obvodu v místě svaru a jeho okolí v šířce minimálně 50 mm 85 - 115 pro $6 \leq S \leq 12$ mm, 120 - 150 pro $13 \leq S \leq 25$ mm Ne Zvolna na vzduchu Nepožadováno				
TECHNOLOGIE							
Svařovací zdroj Svařovací proud (A) při 100 % zatížení: (ED)			Stejnoseměrný pulsní svařovací zdroj Fronius: TPS 450, TPS 5000, TPS 4000 320 A při 100% ED				
MINIMÁLNÍ KVALIFIKACE SVÁŘEČE PRO STEHOVÁNÍ							
EGE, spol.s r.o. Č. Budějovice EGE, spol. s r.o. Bardějov			ČSN 05 0705: ZK 131 21 STN 05 0705: Z-M7				
KVALIFIKACE SVÁŘEČE PRO SVAŘOVÁNÍ							
EGE, spol.s r.o. Č. Budějovice EGE, spol. s r.o. Bardějov			ČSN EN ISO 9606-2 131 T BW 23 S t10 D132 PF ss nb STN EN ISO 9606-2 131 T BW 23 S t10 D132 PF ss nb				
KVALIFIKACE NAHRÍVAČE							
EGE, spol.s r.o. Č. Budějovice EGE, spol. s r.o. Bardějov			ČSN 05 0705: ZP 312-5 21 Směrnice č.3/1991: D-G5				
ZÁKLADNÍ SVAŘOVACÍ HODNOTY - PROMĚNNÉ							
Průměr přídatného materiálu (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Polarita	Posuv svařovacího drátu (m/min)	Typ svařovacího proudu	Svař. program / poloha nastavení TPS 450	Svař. program / poloha nastavení TPS 5000, TPS 4000
1,6	145 - 267	22 - 24	=/+ (DC)	4,2 - 6,5	Puls	8(A199,5) / 1,6ø	ø 1,6 / A1 99,5
DOPLŇUJÍCÍ SVAŘOVACÍ PROMĚNNÉ							
Velikost svaru „S“	Počet svarových vrstev "n"	Svařovací rychlost (cm/min)	Spotřeba přídatného materiálu (Kg/m)				
$6 \leq S \leq 7$	2	11 - 21	0,11 - 0,20				
$8 \leq S \leq 9$	2	10 - 18	0,14 - 0,22				
$9 \leq S \leq 10$	3	7 - 12	0,26 - 0,32				
$11 \leq S \leq 12$	3	5 - 8	0,39 - 0,46				
$13 \leq S \leq 14$	3 - 4	5 - 6	0,54 - 0,63				
$15 \leq S \leq 16$	4	2 - 4	0,70 - 0,80				
S = 18	4 - 5	2 - 3	1,05				
S = 25	7 - 8	1 - 2	2,00				
SVAR - SKICA - NÁČRTEK - DETAIL							
Velikost svaru „S“= skutečná velikost svaru + převýšení svaru							
TECHNOLOGICKÝ POSTUP							
WPS je pro ruční svařování vodiče nebo pouzdra tupým obvodovým V swarem na neodstranitelné podložce. Příprava svarových ploch provedena podle předepsaného technologického postupu na požadovaný tvar. Nastehovat rovnoměrně po celém obvodu svařovaného materiálu podložku podle výkresové dokumentace. V případě nedoléhavosti podložky přidat steh. Očistit podložku v místě svaru před zasunutím druhého vodiče a po zasunutí druhého vodiče nastehovat svarový spoj rovnoměrně po celém obvodu ze strany svaru přerušovaným swarem. Převýšení a konce svarů (stehů) odsekát, obrousit diamantovým kotoučem pro dokonalé spojení. Očištění svarových ploch v délce minimálně 20 mm od osy svaru od koroze a ostatních nečistot drátěným kartáčem, pilníkem před svařováním. V případě požadavku předehřát svařovaný materiál ve vzdálenosti 50 mm od osy svaru. Provést svar. Podle potřeby regulovat svařovací hodnoty. Dodržet velikost svaru. Od 7 svarové vrstvy může mít svarová vrstva 2 svarové housenky pokládáné vedle sebe. Dbát o dokonalé natavení a spojení svarových ploch. Provést vizuální kontrolu. Převýšením krycí svarové vrstvy "v" lze nahradit hloubku případného neprůvaru "h". Očistit svar od strusky, roztřiků svarového kovu (kuličky) sekáčem, ocelovým kartáčem.							
MINIMÁLNÍ NDT KONTROLA PO SVAŘOVÁNÍ: VIZUÁLNÍ (VT)							
Prováděcí norma Vyhodnocovací norma Rozsah kontroly (%)			ČSN EN ISO 17637 ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) 100 - v celé délce svaru				
PODKLAD PRO VYPRACOVÁNÍ							
Číslo výkresu			3-505474-H, 3-505479-F				

Příloha č. 4 Specifikace postupu svařování - WPS-01/99 AI

	Specifikace postupu svařování - WPS	Účinnost od: 25.03.2013	
		WPS číslo: WPS 82/2011 AI	Strana: 1/2 Revize: 0
Výrobek: Strojní obvodové svaření vodiče tupým V svarem na neodstranitelné podložce: přímý spoj Vodič 220x13 (mm)			

ROZDĚLOVNÍK

Středisko	20500, 43310, 43320, 43600, 43610, 43690, 43610/402
-----------	---

ZÁKLADNÍ DATA

Výrobce WPS: ČSN EN ISO 15609-1 Zkušební organizace WPQR: ČSN EN ISO 15614-2	EGE, spol. s r.o. IO ŠKOLA Welding s.r.o. Plzeň
---	--

SVAŘOVANÝ ZÁKLADNÍ MATERIÁL T1, T2

Specifikace Jakostní značení Tloušťka stěny: S (mm) Vnější průměr: D (mm)	Trubka ČSN EN 573-3 EN AW - Al 99,5 13 220	viz výkresová dokumentace viz výkresová dokumentace
--	---	--

NEODSTRANITELNÁ PODLOŽKA T3

Specifikace Jakostní značení Rozměr: Tloušťka x šířka (mm) Průměr: E (mm) Obvodová délka: Z (mm)	Plech ČSN EN 573-3: EN AW - Al99,5 5 x 60 192 603	viz výkresová dokumentace viz výkresová dokumentace viz výkresová doku
--	---	--

PŘÍDAVNÝ MATERIÁL – DRÁT SVAŘOVACÍ – STANDARDNÍ BALENÍ

Jakostní značení Skladovací vlhkost (%) Skladovací teplota (°C) Číselné označení Hmotnost cívky (Kg)	ČSN EN ISO 18273: Al 99,5 Ti, S Al 1450 Maximálně 60 Minimálně 15 Materiale: Alloy 1450 7
--	---

OCHRANNÝ PLYN

Jakostní značení Obchodní označení Linde Gas a.s Chemické složení Průtočné množství plynu na výstupu z hubice M (l/min)	ČSN EN ISO 14175: I1 Ar 5.0 Argon 99,999 % 18 ≤ M ≤ 22
--	---

SVAŘOVACÍ PROCES

Technologie svařování Svařovací metoda Typ svaru Velikost svaru pro tupý V svar: S (mm) Délka svaru pro tupý svar: L (mm) Povrch svaru Způsob svařování Požadovaná velikost úkosu pro tupý V svar: u (°) Svarová hrana: c (mm) Svarová mezera: b (mm) Hloubka maximálního neprůvaru: h (mm) Výška převýšení svaru: v (mm) Značení svarů na výkresu Příprava svarových ploch	Automatické svařování v ochranné atmosféře inertního plynu ČSN EN ISO 4063: 131 - MIG Obvodový tupý V svar na neodstranitelné podložce S = tloušťka stěny S (skutečná velikost svaru + převýšení svaru) Obvodový: 690 viz výkresová dokumentace Neopracovaný mb: svařování na podložce: ČSN EN ISO 9606-2 ss: jednostranné svařování: ČSN EN ISO 9606-2 S: s přídatným materiálem: ČSN EN ISO 9606-2 80 pro S viz výkresová dokumentace 0 ≤ c ≤ 2 viz výkresová dokumentace 2,0 ≤ b ≤ 4 viz výkresová dokumentace ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) a zároveň h ≤ v ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) a zároveň h ≤ v ČSN EN 22553 ČSN EN ISO 9692-3
--	---

POLOHA SVAŘOVÁNÍ

Poloha svařování: svařování v polohovadle	ČSN EN ISO 6947: PA: vodorovná shora
---	--------------------------------------

PROHLÁŠENÍ O SCHODĚ – TYP INSPEKČNÍHO DOKUMENTU

Základní materiál Přídatný materiál: drát svařovací	ČSN EN 10 204: minimálně 2.2 ČSN EN 10 204: minimálně 2.2
--	--

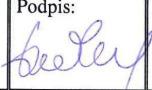

TECHNOLOGIE

Svařovací zdroj Svařovací proud (A) při 100 % zatížení: (ED)	Stejnoseměrný pulsní svařovací zdroj Fronius: TPS 5000 320 A při 100% ED
---	---

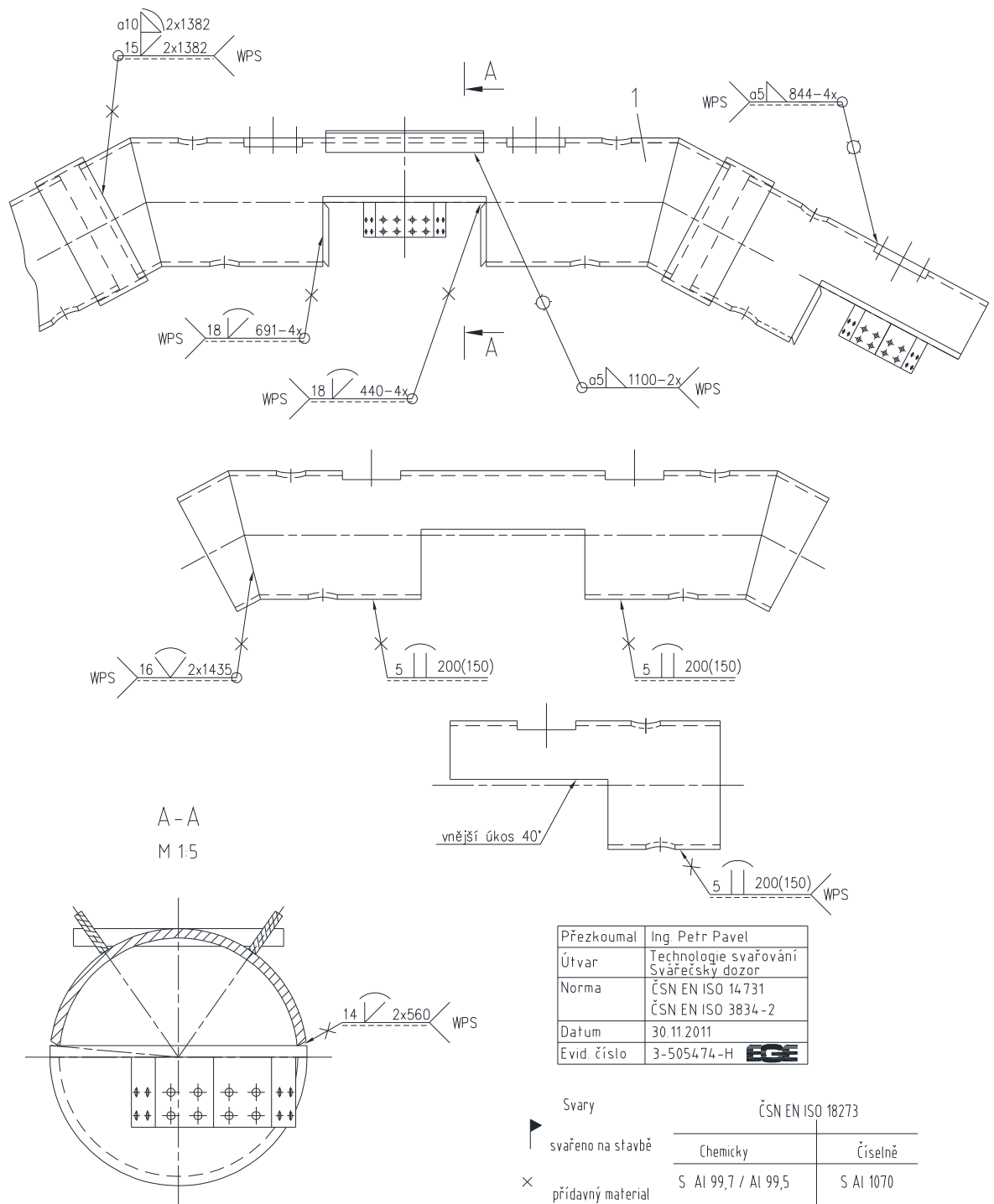
KVALIFIKACE NAHRÍVAČE

EGE, spol. s r.o. České Budějovice	ČSN 05 0705: ZP 312-5 21
------------------------------------	--------------------------

SVÁŘEČSKÝ PERSONÁL

Vypracoval: Ing. Pavel Kálal Titul: Evropský a mezinárodní svářečský inženýr: ČSN EN ISO 14731 Útvar: Technologie svařování - Svářečský dozor Protokol o kvalifikaci postupu svařování: WPQR 36/2013	Podpis: 	Razítko: 	Vypracováno: 22.03.2013 Nahrazuje / Ruší:
---	---	---	--

EGE spol. s r. o.		Specifikace postupu svařování - WPS		Účinnost od: 25.03.2013						
WPS číslo: WPS 82/2011 AI				Strana: 2/2	Revize: 0					
PŘEDEHŘEV / TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ										
Předehřev základního materiálu (°C) Nahřívací plyn pro předehřev Rychlost ohřevu Interpass (°C): maximální mezivrstevní teplota Dohřev po svařování Způsob chlazení svaru Tepeelné zpracování po svařování			80 - 90 Propan - butan Plynulý po celém obvodu v místě svaru a jeho okolí v šířce minimálně 50 mm 85 - 115 Ne Zvolna na vzduchu Nepožadováno							
MINIMÁLNÍ KVALIFIKACE SVÁŘEČE PRO STEHOVÁNÍ										
EGE s.r.o. Č. Budějovice			ČSN 05 0705: ZK 131 21							
KVALIFIKACE SVÁŘEČE PRO SVAŘOVÁNÍ										
EGE s.r.o. Č. Budějovice			ČSN EN 1418 131 T BW 21 S t11 D600 PA ss mb ml							
SVAŘOVACÍ HODNOTY – PROMĚNNÉ V NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO ZDROJE										
Průměr přídavného materiálu (mm)	Polarita	Typ svařovacího proudu	Provozní režim	Svařovací program	Program nastavení	Spotřeba přídavného materiálu na svar (kg)	Svařovací čas na svar (min)			
1,6	±/+(DC)	Puls	2-takt	ø 1,6	AlSi5	0,38	9,79			
SVAŘOVACÍ HODNOTY – PROMĚNNÉ V NASTAVENÍ SVAŘOVACÍHO ZDROJE, SONDY A NA DÁLKOVÉM OVLADAČI										
Velikost svaru „S“	Svařová vrstva "č"	Vzdálenost hořáku od osy sklíčidla "l" (mm)	Posuv svař. drátu při startu (m/min)	Posuv svař. drátu po startu (m/min)	Rychlost během svař. (cm/min)	Napětí na oblouku (V)	Poloha sondy	Vzdálenost sondy "w" (mm)	Pendl - rozsah během svař. (mm)	Vzdálenost hubice „K“ (mm)
13	1	60 - 70	5,9	5,8 - 5,7	35 - 42	0	A	-	0 - 2,5	10 - 15
	2	60 - 70	6,0	5,9 - 5,7	12 - 20	0 - +5	A / B	- / 10-15	2,0 - 4,5	15 - 17
	3	60 - 70	6,0	5,9 - 5,7	15 - 24	0 - +5	B	10-15	7,5 - 12,5	15 - 17
SVAŘOVACÍ HODNOTY – PROMĚNNÉ V NASTAVENÍ V DÁLKOVÉM OVLADAČI										
Oblouková vzdálenost hořáku od židla „y“ (mm)		Úhel GAMA (°)	Úhel ALFA (°)	Hlídnání oblouku	Čas na kontrolu oblouku (ms)	Vícevrstvý režim	Počet vrstev			
35 - 50		1	80	OFF	0	OFF	3			
SVAŘOVACÍ HODNOTY – PROMĚNNÉ V NASTAVENÍ VE VLASTNÍM PROGRAMU										
Program číslo	Úhel (°)	Rychlost (cm/min)	Průměr (mm)	Prodleva na startu (ms)	Prodleva na konci (ms)	Pendl - rychlost (cm/min)	Pendl - rozsah (mm)			
109	360	40	196	0	0	500	0			
110	360	15	206	0	0	450	2,5			
111	360	20	220	0	0	450	8,5			
Program číslo	Čas pendlu na kraji (ms)		Job svařování	Rychlost pendlu na kraji méně o: (cm/min)		Přerušované svařování svar (°)	Přerušované svařování: mezera (°)	Korekce: F3 vertikální	Korekce: F4 Horizontální	
	Pravá	Levá		Pravá	Levá					
109	0	0	0	0	0	0,00	0,00	ON	OFF	
110	450	450	0	0	0	0,00	0,00	ON	OFF	
111	450	450	0	0	0	0,00	0,00	ON	OFF	
SVAR - SKICA – NÁČRTEK – DETAIL: Velikost svaru „S“= skutečná velikost svaru + převýšení svaru										
Pozice hořáku v upínacích čelistech										
TECHNOLOGICKÝ POSTUP										
WPS je pro strojní svařování vodiče obvodovým tupým V svarom na neodstranitelné podložce. Příprava svarových ploch provedena podle předepsaného technologického postupu na požadovaný tvar. Nastehovat rovnoměrně po celém obvodu svařovaného materiálu podložku podle výkresové dokumentace. V případě nedoléhavosti podložky přidat steh. Očistit podložku v místě svaru před zasunutím druhého vodiče a po zasunutí druhého vodiče nastehovat svarový spoj rovnoměrně po celém obvodu ze strany svaru přerušovaným svarom. Převýšení a konce svarů (stehů) odsekat, obrousit diamantovým kotoučem a zatěmovat pro dokonalé vedení sondy, tzn. vytvořit plynulé drážku pro plynulé najíždění, vyjždění sondy a vedení sondy v drážce stehu. Očištění svarových ploch v délce minimálně 20 mm od osy svaru od koroze a ostatních nečistot drátěným kartáčem, pilníkem před svařováním. Předehřát svařovaný materiál ve vzdálenosti 50 mm od osy svaru. Nastavit svařovací program včetně vzdálenosti sondy "y" a hořáku "l", "k" a pozice "T". Provést svar. Podle potřeby regulovat svař. rychlost (tlačítko F1, F2), posuv svařovacího drátu na dálkovém ovladači a rozsah pendlu (tlačítko F11, F12). Dodržet velikost svaru. Dbát o dokonalé natavení a spojení svarových ploch. Provést vizuální kontrolu. Převýšením krycí svarové vrstvy "v" lze nahradit hloubku případného neprůvaru "h". Očistit svar od rozstřiku svarového kovu (kuličky) sekáčem, ocelovým kartáčem.										
MINIMÁLNÍ NDT KONTROLA PO SVAŘOVÁNÍ: VIZUÁLNÍ (VT)										
Prováděcí norma Vyhodnocovací norma Rozsah kontroly (%)			ČSN EN ISO 17637 ČSN EN ISO 10042: stupeň jakosti C (SM 3/96) 100 – v celé délce svaru							
PODKLAD PRO VYPRACOVÁNÍ										
Číslo výkresu			3-505474-H							



A - A
M 1:5

vnější úkos 40°

Přezkoumal	Ing. Petr Pavel
Útvar	Technologie svařování Svářečský dozor
Norma	ČSN EN ISO 14731 ČSN EN ISO 3834-2
Datum	30.11.2011
Evid. číslo	3-505474-H EGE

Svary	ČSN EN ISO 18273	
	Chemicky	Číselně
▲ svařeno na stavbě		
× přídatný materiál	S Al 99,7 / Al 99,5	S Al 1070
○ přídatný materiál	S AISi5/AISi5(A)	S Al 4043/Al 4043(A)
□ přídatný materiál	S AlMg5Cr(A)	S Al 5356/Al 5356(A)

Svary přenášející elektrický proud musí mít průřez svaru roven minimálně průřezu svařovaného materiálu

Příloha č. 6 Vodič nuly - část výkresu s vyznačením svarů

Seznam obrázků

Obrázek 1 Rozbor značení materiálu podle ČSN EN 573, převzato a upraveno z [13].....	18
Obrázek 2 Chemické složení materiálů používaných pro výrobu zapouzdřených vodičů podle ČSN EN 573, převzato a upraveno z [13].....	18
Obrázek 3 Vybrané pojmy terminologie podle ČSN 05 000, převzato a upraveno z [7].....	21
Obrázek 4 Svařovací polohy - orientační kruh, převzato a upraveno z [6].....	22
Obrázek 5 Svařovací poloha PC, vlastní zdroj.....	22
Obrázek 6 Tabulka základních značek, převzato a upraveno z [4].....	23
Obrázek 7 Tabulka doplňujících značek, převzato a upraveno z [4].....	24
Obrázek 8 Příklady označení koutového svaru, převzato a upraveno z [4].....	24
Obrázek 9 Kótování svaru, převzato a upraveno z [4].....	24
Obrázek 10 Obvodový svar, vlastní zdroj.....	25
Obrázek 11 Montážní svar, vlastní zdroj.....	25
Obrázek 12 Jeden z možných způsobů označení svařovací metody, vlastní zdroj.....	25
Obrázek 13 Obalovaná elektroda, převzato a upraveno z [1].....	28
Obrázek 14 Svařovací hořák - metoda WIG, vlastní zdroj.....	31
Obrázek 15 Tvar konce elektrody pro svařování hliníku a jeho slitin, vlastní zdroj.....	31
Obrázek 16 Pásma kyslíko-acetyléového plamene, převzato a upraveno z [1].....	32
Obrázek 17 Injektorový svařovací hořák, vlastní zdroj.....	33
Obrázek 18 Laserový svar, vlastní zdroj.....	35
Obrázek 19 Schéma uspořádání odporového bodového svařování, převzato a upraveno z [1].....	36
Obrázek 20 Lícová strana svařence, vlastní zdroj.....	39
Obrázek 21 Rubová strana svařence, vlastní zdroj.....	39
Obrázek 22 Typické příklady přípravy tvaru a rozměru svarových ploch používaných u vodičů, vlastní zdroj.....	41
Obrázek 23 Nahřívání vodiče propan-butanovým plamenem, vlastní zdroj.....	42
Obrázek 24 Zařízení pro svařování metodou MIG, převzato a upraveno z [1].....	44
Obrázek 25 Vliv ploché a strmé charakteristiky na kolísání proudu vyvolané změnou délky oblouku, převzato a upraveno z [1].....	45
Obrázek 26 Svařovací digitální zdroj pro svařování hliníku a jeho slitin od firmy FRONIUS, typ TranPuls Synergic 5000, vlastní zdroj.....	48
Obrázek 27 Systém PUSH-PULL, vlastní zdroj.....	49
Obrázek 28 Detail čtyřkladkového pohonu, vlastní zdroj.....	50
Obrázek 29 Svařovací hořák, vlastní zdroj.....	50
Obrázek 30 Symboly a zkratky, převzato a upraveno z [8].....	51
Obrázek 31 Režim 2-takt, převzato a upraveno z [8].....	52
Obrázek 32 Režim 4-takt, převzato a upraveno z [8].....	52
Obrázek 33 Režim speciální 4-takt, převzato a upraveno z [8].....	52
Obrázek 34 Režim bodování, převzato a upraveno z [8].....	53
Obrázek 35 Části elektrického oblouku, převzato a upraveno z [1].....	54
Obrázek 36 V-A charakteristika pro ocel a hliník, převzato a upraveno z [1].....	55
Obrázek 37 Sprchový přenos, převzato a upraveno z [1].....	57
Obrázek 38 Průběh proudu a přechod kovu u impulzního svařování, převzato a upraveno z [8].....	58
Obrázek 39 Rozdílnost závaru při použití ochranného plynu Ar a He, převzato a upraveno z [3].....	60
Obrázek 40 Štítek s popisem označující drát AlSi5, vlastní zdroj.....	62
Obrázek 41 Tabulka základních a přídatných materiálů a jejich kombinace, vlastní zdroj.....	63
Obrázek 42 Technika ručního svařování metodou 131 (MIG), převzato a upraveno z [3].....	64
Obrázek 43 Svařovací automat BOKI, vlastní zdroj.....	66
Obrázek 44 Pendl (vlevo) a hořák svařovacího automatu, vlastní zdroj.....	66
Obrázek 45 Vady svarů – Zápaly, vlastní zdroj.....	69
Obrázek 46 Zkouška tlakem, vlastní zdroj.....	71
Obrázek 47 Zkouška tlakem-svár s vrstvou mýdlového roztoku, vlastní zdroj.....	71
Obrázek 48 Vzorek pro tahovou zkoušku, vlastní zdroj.....	72
Obrázek 49 Svářečská kukla s filtrační jednotkou, vlastní zdroj.....	74
Obrázek 50 Sestavený a nabodovaný vodič, vlastní zdroj.....	76
Obrázek 51 Druhá a třetí vrstva svaru, vlastní zdroj.....	79
Obrázek 52 Pozorování a ruční korekce při strojním svařování, vlastní zdroj.....	80
Obrázek 53 Druhá vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj.....	82
Obrázek 55 První vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj.....	82

Obrázek 54 Třetí vrstva svaru, strojní svařování, vlastní zdroj	82
Obrázek 56 Strojní svar, vlastní zdroj	83
Obrázek 57 Ruční svar, vlastní zdroj	83
Obrázek 58 Vzorek po zkoušce tahem, vlastní zdroj	85
Obrázek 59 Snímek z makro zkoušky, vlastní zdroj	85
Obrázek 60 Rentgenový snímek s póry (tmavé tečky), vlastní zdroj	86
Obrázek 61 Rentgenový snímek bez vad, vlastní zdroj.....	86

Seznam tabulek

Tabulka 1 Svařování vodiče D220x13[mm] – první měření	77
Tabulka 2 Svařování vodiče D220x13[mm] – druhé měření	77
Tabulka 3 Svařování vodiče D360x12[mm] – první měření	78
Tabulka 4 Svařování vodiče D360x12[mm] – druhé měření	78
Tabulka 5 Svařování vodiče D760x12[mm] – první měření	78
Tabulka 6 Svařování vodiče D760x12[mm] – druhé měření	79
Tabulka 7 Svařování vodiče D220x13[mm] – první měření	80
Tabulka 8 Svařování vodiče D220x13[mm] – druhé měření	81
Tabulka 9 Svařování vodiče D360x12[mm] – první měření	81
Tabulka 10 Svařování vodiče D360x12[mm] – druhé měření	81
Tabulka 11 Svařování vodiče D760x12[mm] – první měření	82
Tabulka 12 Svařování vodiče D760x12[mm] – druhé měření	82