

Hliníkové materiály a možnosti jejich svařování

ing. Jiří Koutný

Revize textu:

1998 - původní text

2002 - doplnění nového značení základních kurzů dle ČSN 05 0705
- aktualizace přídatných materiálů dle nového tištěného katalogu ESAB

2006 - aktualizace normy pro "Evropské" zkoušky svářečů (ČSN EN ISO 9606-2)
- doplnění nového značení přídatných materiálů ESAB pro MIG a TIG

Tato publikace je volně ke stažení na oborových serverech:

www.svarbazar.cz

www.svarinfo.cz

OBSAH:

<i>Název kapitoly.</i>	<i>Strana.</i>
1. Úvod - z historie výroby hliníku	2
2. Vlastnosti hliníku a jeho slitin	3
3. Svařitelnost hliníku - hlavní problémy	6
4. Kvalifikace a zkoušky svářečů	8
5. Svařování plamenem	9
6. Svařování elektrickým obloukem	12
6.1. Svařování obalenou elektrodou	13
6.2. Svařování v ochranných atmosférách	14
6.2.1. Svařování tavící se elektrodou MIG	14
6.2.2. Svařování netavící se elektrodou TIG	16
7. Jiné způsoby svařování	19
8. Přídavné materiály fy. ESAB pro svařování hliníku	20
9. Závěr - perspektivy využití hliníku	22
10. Seznam použité literatury	23
11. Dodatek – nové značení přídavných materiálů ESAB	24

1. Úvod - z historie výroby hliníku.

Napoleon III., manžel krásné hraběnky Eugénie de Montijo a císař francouzský, měl velkou zálibu v neobyčejných věcech. Čím fantastičtější byla myšlenka, tím více ho nadchla. Když mu tedy jeho referent pro fyziku a chemii, senátor Jean Baptiste Dumas jednou oznámil, že na pařížské École normale je jako učitel chemie zaměstnán mladý muž Sainte-Clare Deville a že tento muž vynalezl metodu, jak vyrábět z hlíny stříbro, nebylo zapotřebí zvláštního domlouvání, aby se císař odhodlal k vydatné podpoře mladého badatele. Napoleon dal Devillovi k dispozici rozsáhlé prostory v chemické továrně v Javelle, kam byla přenesena z chemické laboratoře mladého učitele výroba hliníku, jež se ukázal být oním "stříbrem z hlíny".

Místo kelímku, jehož již dříve použil k redukci chloridu hlinitého za pomoci draslíku jistý pan Wöhler, postavil Deville šamotovou pec. Za první rok vyrobil Deville dvacet kilogramů hliníku. Napoleon by rád viděl své vojáky v lehkých pancířích z hliníku. S oblibou si také představoval, že šavle i hlavně pušek a děl budou vážit jen třetinu své dosavadní váhy. Tyto představy však zůstaly jen snem. Při Devillově způsobu výroby stál kilogram hliníku dva tisíce pět set franků. Tolik činila téměř cena stejného množství zlata ... Hliník se tedy více hodil pro klenotníky než pro zbrojře.

Deville se s fanatickou horlivostí snažil zvýšit výkonnost své továrny a zlevnit tak výrobu hliníku. Hliník byl skvěle bílý, při odlévání a na vzduchu se téměř neměnil, bylo jej možno kovat, byl pevný, odolný a leštěním nabýval zrcadlového lesku. Bylo jisté, že záhy předčí stříbro, měď ba i železo, jen co se podaří snížit jeho cenu. Deville s úspěchem nahradil draslík levnějším sodíkem. V kryolitu dovezeném z Grónska objevil ještě lacinější surovinu. Postavil tavící pec a zavedl metodu výroby elektrolýzou, kterou mezitím objevil německý fyzik Bunsen. Téměř přes noc se objevila nová surovina k výrobě hliníku - bauxit. Nikdo neví kdo tento objev učinil. Bauxit byl již znám přes padesát let, kdy jej u města Baux v jižní Francii našel Berthier, který už tehdy zjistil, že obsahuje zpoloviny oxid hlinitý, něco oxidu železitého a vodu.

Mezitím vznikly továrny na hliník i v jiných zemích: Anglii, Spojených státech a Německu. Výroba stoupala, ceny klesaly. Dva tisíce, tři tisíce, pět tisíc kilogramů hliníku ročně. Dvě stě čtyřicet franků za kilogram, pak sto osmdesát, sto padesát, sto dvacet. Při sto dvaceti se pokles ceny zastavil. Nepomohly ani pokusy ani námaha. Deville bojoval jako posedlý, ale výrobní cenu již nebylo možno snížit.

1. července 1881 byl ráno vytažen ze Seiny utopený muž. Henri Sainte-Deville se zhroutil pod tíhou úkolu, který si sám vytkl.

2. Vlastností hliníku a jeho slitin.

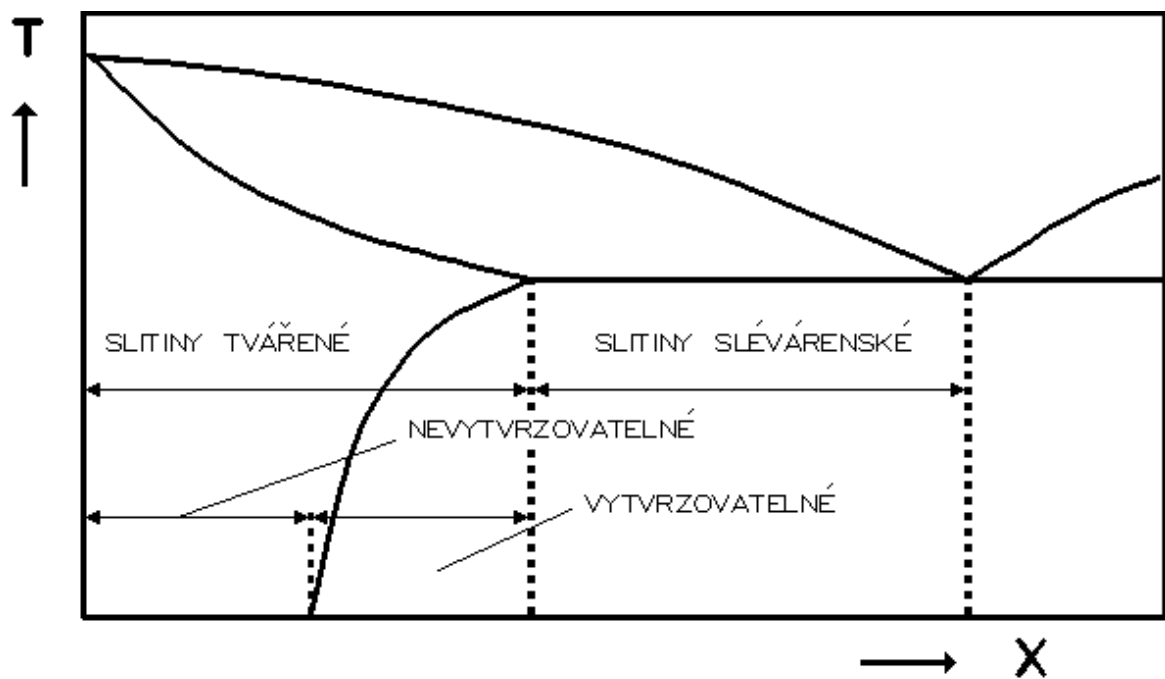
Hliník je lesklý kov stříbřité barvy, který díky své měrné hmotnosti $2699 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ řadíme mezi tzv. lehké kovy. Hliník krystaluje v kubické soustavě s plošně středěnou mřížkou, což předurčuje vynikající tvařitelnost za studena. Teplota tavení čistého hliníku je asi $660 \text{ }^\circ\text{C}$, pevnost asi 70 MPa . Hliník se také vyznačuje dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí. Například elektrická vodivost hliníku čistoty 99.5 % dosahuje 64 % vodivosti mědi. Vlastnosti hliníku, zejména pevnost a elektrická konduktivita však silně závisejí na jeho čistotě. Běžnými postupy výroby, tedy jednoduchou elektrolyzou, lze získat kov s čistotou 99.3 až 99.8 %, přičemž na výrobu polotovarů se používá nejčastěji hliník čistoty 99.5 %, označovaný jako technicky čistý elektrovodný hliník. Nikolikanásobnou elektrolyzou lze potom získat hliník čistoty 99.99 % a speciálními metodami rafinace dokonce až 99.9999 %. Zde je ovšem nutno přihlídnout k nemalým výrobním nákladům, a proto se hliník této čistoty vyrábí pouze pro potřeby laboratoří a speciální účely. Hliník čistoty 99.7 až 99.8 % je využíván v potravinářském průmyslu a v obalové technice (známé nápojové plechovky). Hlavními nečistotami v hliníku jsou: železo (Fe) - cca 0.005 % a křemík (Si) - cca 0.05 %. Důležitou vlastností hliníku je jeho odolnost proti korozi. Tato odolnost je dána vrstvou oxidu Al_2O_3 na povrchu hliníku. Tato vrstva je velmi přilnavá a elektricky nevodivá. Její měrná hmotnost (asi $3960 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) je stejně jako teplota tavení ($2250 \text{ }^\circ\text{C}$) vyšší než měrná hmotnost a teplota tavení samotného hliníku. Tloušťka této oxidické vrstvy je asi $0.01 \text{ }\mu\text{m}$ a poskytuje spolehlivou ochranu před další oxidací (korozi). V některých případech lze tloušťku této vrstvy uměle zvýšit až na několiknásobek ($25 \text{ }\mu\text{m}$) tzv. eloxováním. Vybrané vlastnosti hliníku a jejich porovnání s vlastnostmi nízkouhlíkové oceli jsou v následující tabulce.

Tab. 1 Porovnání vlastností hliníku a oceli.

Vlastnosti	hliník	nízkouhlíková ocel
Měrná hmotnost při $20 \text{ }^\circ\text{C}$	2699	7850
při teplotě tavení [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	2380	7000
Měrná hmotnost oxidu Al_2O_3 [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	3960	---
Teplota tavení [$^\circ\text{C}$]	660	1530
Teplota tavení Al_2O_3 [$^\circ\text{C}$]	2250	---
Tepelná vodivost [$\text{J}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot^\circ\text{C}^{-1}$]	2.1	0.46

Tepelná roztažnost [$^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 10^{-6}$]	23.8	12
Elektrická vodivost [S]	35	8
Pevnost [MPa]	70-100	300-400
Tažnost [%]	30-40	30-35

Některé vlastnosti hliníku, zejména vlastnosti mechanické, lze ovlivňovat přidáváním různých legujících prvků do čistého hliníku. Vznikají tak hliníkové slitiny, což jsou obvykle tuhé roztoky s omezenou rozpustností. Hliníkové slitiny lze rozdělovat dle různých hledisek. V praxi se slitiny dělí podle zpracování na slitiny tvářené a slévárenské. Tvářené slitiny se podle tepelného zpracování dále dělí na slitiny nevytvrzovatelné a vytvrzovatelné. Vytvrzováním rozumíme tepelné zpracování, kterým lze zlepšit některé mechanické vlastnosti, zejména pevnost. Schematicky je rozdělení slitin ve vztahu k rovnovážnému diagramu znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 1 Rozdělení hliníkových slitin.

Nevytvrzovatelné slitiny, jsou slitiny, u kterých nelze tepelným zpracováním zvýšit pevnost ani tvrdost, případně by výsledný efekt byl velice malý, neodpovídající vynaloženým nákladům. Tyto slitiny lze většinou zpevňovat za studena tvářením. Mezi nevytvrzovatelné slitiny řadíme slitiny na bázi Al-Mn a Al-Mg. Slitiny Al-Mg jsou právě případem slitin, které by se

mohly vytvrzovat, ale díky neefektivnosti vytvrzování je řadíme mezi nevytvřovatelné slitiny. Nejvýznamějšími představiteli této skupiny jsou slitiny:

AlMn1 - potravinářský a chemický průmysl, obaly, nádoby, plechy. Výborná tvařitelnost díky Mn.

AlMg2 - potravinářský a chemický průmysl.

AlMg5 - automobilový průmysl - karoserie. Hořčík zvyšuje pevnost a zajišťuje dobré vlastnosti i při nízkých teplotách.

AlMg4.5Mn1 - odolnost proti mořské vodě - stavba lodí.

Vytvrzovatelné slitiny mohou díky tepelnému zpracování výrazně zvýšit svoji pevnost avšak při poklesu tažnosti. Vytvrzování spočívá v rychlém ochlazení z teploty okolo 500 °C ve vodě či oleji a dále přirozeným nebo umělým stárnutím slitiny. Při přirozeném stárnutí za běžné teploty okolí může proces vytvrzování trvat několik dní až měsíců. Umělé stárnutí při teplotách 50 - 150 °C zkrátí tento proces na několik hodin. Hlavní skupiny slitin jsou tyto: slitiny s nízkou a střední pevností (AlMgSi, AlZnMg - dosažitelné pevnosti 200 až 350 MPa) a slitiny s vysokou pevností (AlCuMg, AlZnMgCu - dosažitelné pevnosti 400 až 700 MPa). Nevýznamějšími představiteli vytvrzovatelných slitin jsou:

AlMg0.5Si0.5 a AlMg1Si1 - dobrá tvařitelnost za tepla, malá citlivost na ochlazovací rychlost.

Dobrá svařitelnost a eloxovatelnost.

Použití pro výrobu tvarově složitých výlisků (např. chladicí žebra el. motorů) a velkých profilů pro stavbu vagonů.

AlZn4Mg1 - obdobné vlastnosti a použití jako předchozí typ.

AlCuMg - slitina známá pod obchodním názvem dural. Vysoká pevnost, ale horší tvařitelnost.

Použití na draky letadel a skříně kolejových vozidel.

AlZn6MgCu - nejpevnější vytvrzovatelná slitina - superdural (pevnost až 700 MPa). Použití jako u duralu.

V současné době se ve stadiu vývoje nacházejí slitiny typu Al-Li. Jedná se o velmi lehké slitiny, právě díky legování Li, což je nejjlehčí kov vůbec (měrná hmotnost 544 kg.m⁻³). Jsou vyvíjeny výhradně pro letecký průmysl, avšak jejich vysoká cena a stále ještě nespolehlivá technologie výroby brzdí jejich masové nasazení.

Slévárenské slitiny jsou ve srovnání se slitinami určenými pro tváření méně tvárné, ale vyznačují se dobrou zabíhavostí do formy a malým sklonem ke vzniku trhlin za tepla a k tvorbě staženin. Mechanické vlastnosti závisejí nejen na chemickém složení, ale také na způsobu lití. Obecně lze říci, že nejvyšší pevnosti dosahují po tepelném zpracování odlitky lité do kokil. Naopak tepelné zpracování není vhodné aplikovat po tlakovém lití. Hlavní skupiny slévárenských slitin jsou tvořeny:

Al - Si (tzv. Silumin), výborná zabíhavost a dobrá odolnost proti trhlinám zatepla.

Al - Mg nejlepší slévárenská slitina. Výborná odolnost proti korozi.

Al - Cu dobrá odolnost proti opotřebovávání i za vysokých teplot (písty spalovacích motorů)

Al - Zn dobrá slévateľnost, snadné tepelné zpracování, dobré mechanické vlastnosti.

3. Svařitelnost hliníku - hlavní problémy.

Pojmy svařitelnost a svařování hliníku bude v dalším textu rozuměna svařitelnost a svařování nejen čistého hliníku, ale i jeho slitin. Svařitelnost hliníku, jakožto schopnost materiálu vytvořit za určitých podmínek svarový spoj požadovaných vlastností, je ovlivněna několika základními faktory. Nejdůležitějším z nich je přítomnost oxidické vrstvy Al_2O_3 na povrchu hliníku a jeho slitin. Tato vrstva, jejíž základní vlastnosti byly popsány v předešlé kapitole, zabraňuje metalickému spojení základního a přídavného materiálu. Z tohoto důvodu musí být vždy před svařováním z povrchu svařovaných součástí odstraněna. Odstranění této vrstvy je však vzhledem k její odolnosti velmi obtížné. V praxi se používají čisticí prostředky chemické, mechanické a fyzikální. Pro chemické čištění se používají různé mořicí a oplachovací lázně před svařováním, případně vhodná tavidla rozpouštějící Al_2O_3 během svařování.

Příkladem mořicí lázně může být lázeň sestávající ze 100 g/l hydroxidu sodného rozpuštěného ve vodě, případně s přídavkem 20 g/l chloridu sodného. Pracovní teplota lázně je 60 - 70 °C.

Příkladem tavidla je tavidlo sestávající z:

- 420 g chloridu draselného
- 300 g chloridu sodného
- 120 g chloridu lithného
- 80 g fluoridu draselného
- 80 g síranu sodného kyselého

Připravuje se rozetřením složek v misce na jemný prášek. Lze jej použít pro svařování plamenem i uhlíkovou elektrodou. Oplach po svařování se provede horkou vodou, 2 % roztokem kyseliny chromové a opět horkou vodou, jinak okolí svaru zkoroduje.

Vhodné chemické prostředky jsou samozřejmě dostupné na trhu jako komerční výrobky pod různým obchodním označením. Jinou možností je odstranění Al_2O_3 vrstvy mechanicky např. nerezovým ručním či strojním kartáčem. Díky vysoké afinitě hliníku ke kyslíku trvá obnovení oxidické vrstvy jen několik milisekund. Pro dosažení účinné tloušťky zabraňující svařování je ale potřebná doba delší. Přesto je nutné začít svařovat ihned po odstranění vrstvy. Poslední metoda odstraňování Al_2O_3 je čištění fyzikálními úkazy při svařování elektrickým obloukem, což bude podrobněji popsáno v kapitole o obloukovém svařování.

Dalším problémem při svařování hliníku je jeho dobrá tepelná vodivost, což si vynucuje použití vyšších tepelných příkonů při svařování a často i nákladného přehřevu. Přehřev by měl být na teplotu v rozsahu 150 - 300 °C. Díky velkému koeficientu tepelné roztažnosti je svarový kov náchylný na vznik trhlin za horka. Potlačení jejich vzniku je možné volbou vhodné technologie svařování tak, aby tepelné ovlivnění materiálu bylo minimalizováno. S teplotou souvisí i citlivost některých slitin na ohřev, kdy dochází k poklesu hodnot mechanických vlastností a odolnosti proti korozi.

Vytvrzovatelné slitiny je třeba svařovat zásadně v nevytvrzeném stavu pro zajištění shodných vlastností svarového kovu a základního materiálu po vytvrzení.

Velká rozpustnost plynů v hliníku může způsobit pórovitost svarového spoje. Proto je nutné zamezit přístupu vzduchu ke svarové lázni ať použitím vhodného tavidla či ochranné atmosféry.

Nezanedbatelnou vlastností je to, že hliník při ohřevu nemění svoji barvu. Tato vlastnost způsobuje při svařování problémy s určením bodu tavení a se sledováním tavné lázně.

Naproti tomu hliník díky tomu, že je nemagnetický, nevychyluje elektrický oblouk při obloukovém svařování a nehrozí tedy tzv. foukání oblouku, známé ze svařování ulíkové oceli.

Hliník a jeho slitiny je možné svařovat celou řadou metod jako je svařování plamenem, elektrickým obloukem či speciálními metodami. Tyto metody budou podrobněji popsány v dalším textu. Přes všechny výše uvedené problémy lze při vhodné metodě svařování svařitelnost hliníku označit za velmi dobrou. Vyjimku tvoří slitiny typu AlCuMg označované jako duraly, jejichž svařitelnost je zpravidla obtížná.

4. Kvalifikace a zkoušky svářečů.

Ještě před detailním popisem jednotlivých metod svařování hliníku je vhodné pojednat o tom, kdo a za jakých podmínek může hliník svařovat. Svářeč, který bude svařovat hliník musí absolvovat základní kurs s následným úspěšným složením základní zkoušky. Pro zkoušky svářečů v základních kurzech platí od 1.1. 1978 norma **ČSN 05 0705**, která však byla zásadně novelizována v září roku 2002 [11]. Novelizace se týká zejména změn ve značení základních kurzů a zaškolení svařování. Toto značení vychází nyní ze značení používaného v EU. Základní kurz absolvují pracovníci popř. učni vybraných oborů pro získání kvalifikace "svářeč kovů". Kurzy jsou pořádány ve svářečských školách, kterým vydala zkušební organizace osvědčení způsobilosti. Jednotlivé základní kurzy jsou zaměřeny na určitou metodu svařování určité skupiny materiálů. Například označení **ZK - 141 W21** znamená svařování materiálů skupiny **W21** (hliník a jeho slitiny) metodou TIG elektrickým obloukem netavící se elektrodou (metoda **141**). Písmena **ZK** značí základní kurz. Značení dalších metod používaných pro svařování hliníku je: **135** - poloautomatické svařování tavící se elektrodou MIG, **111** - ruční svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou, **311** - svařování plamenem. Platnost základních kurzů je omezena na dva roky. Její prodloužení je možné na základě úspěšného přezkoušení svářeče z bezpečnostních předpisů. Záznam o základních zkouškách i následných periodických přezkušováních se provádí do svářečského průkazu. Stejně tak i lékařské prohlídky jejichž platnost je pět let.

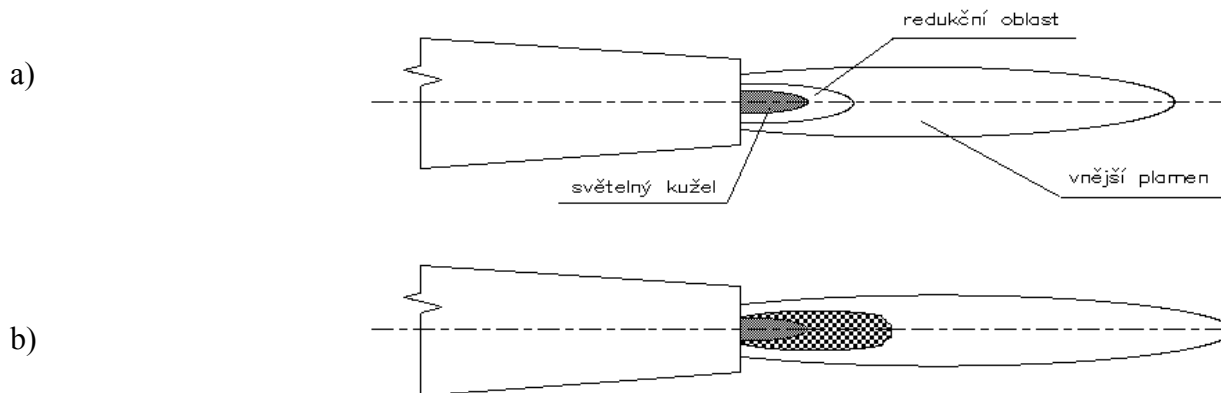
U některých konstrukcí, kdy by porucha svaru mohla způsobit velké ekonomické škody či ohrožení životů lidí, je potřeba aby takové svary zhotovovali jen ti, kteří mají delší praxi a vyšší znalosti. Dříve byli za takové svářeče považováni ti, kdo úspěšně složili úřední zkoušku svářeče dle ČSN 05 0710. V současné době (od října 2005) se toto vyšší školení svářečů provádí v souladu s normou **ČSN EN ISO 9606-2**, kde číslice 2 za pomlčkou označuje skupinu materiálů hliník a jeho slitiny. Úspěšné složení zkoušky dle ČSN EN ISO 9606-2 je nutné také v případě, že svářeč pracuje v podniku se zavedeným systémem zajišťování jakosti dle norem řady ISO 9000 a aplikačních norem pro oblast svařování EN 729 a EN 719. Svářeč skládá zkoušku dle ČSN EN ISO 9606 - 2 po absolvování příslušného přípravného kurzu ve svářečské škole oprávněné připravovat svářeče ke zkouškám dle této normy. Svářeč může být zařazen do tohoto kurzu po absolvování příslušného základního kurzu dle ČSN 05 0705. Zkouška dle ČSN EN ISO 9606-2 sestává z praktické a teoretické části. Při praktické části určí zkušební orgán nejméně dva svarové spoje pro jejichž provádění získává svářeč oprávnění. Zhotovení zkušebních kusů a jejich vyhodnocení zkušebním orgánem je nedílnou součástí zkoušky. Teoretická část se vykoná v rozsahu odpovídajícím normě ČSN EN ISO 9606 - 2 a je povinná. Zkouška svářeče platí dva roky, za předpokladu, že jsou splněny následující podmínky, a že tyto podmínky vždy po šesti měsících potvrdí zaměstnavatel nebo pracovník pověřený dozorem:

- a) Svářeč musí pravidelně vykonávat svářečské práce v rozsahu platnosti své zkoušky. Přípouští se přerušení max. šest měsíců.
- b) Svářečské práce musí odpovídat technickým podmínkám, za kterých byla provedena zkouška.
- c) Není-li žádný závažný důvod zpochybňující zručnost a vědomosti svářeče.

Není-li splněna některá z těchto podmínek, je zkouška svářeče prohlášena za neplatnou. Pro potvrzení, že svářeč úspěšně vykonal zkoušku, je mu vystaveno osvědčení, nejlépe na formuláři dle Přílohy A normy. [4]

5. Svařování plamenem.

Pro tuto metodu se nejčastěji používá kyslíko-acetylenový neutrální až mírně redukční plamen s poměrem míšení složek $O_2:C_2H_2 = 0.9$ až $1.0 : 1.0$ tedy s mírným nadbytkem acetylenu. Takový plamen je charakteristický 3x až 4x delším bíle svítícím kuželem oproti plameni přísně neutrálnímu. Navíc tento kužel ztrácí své přesné rysy a stává se mlhavým, viz obr. 2.

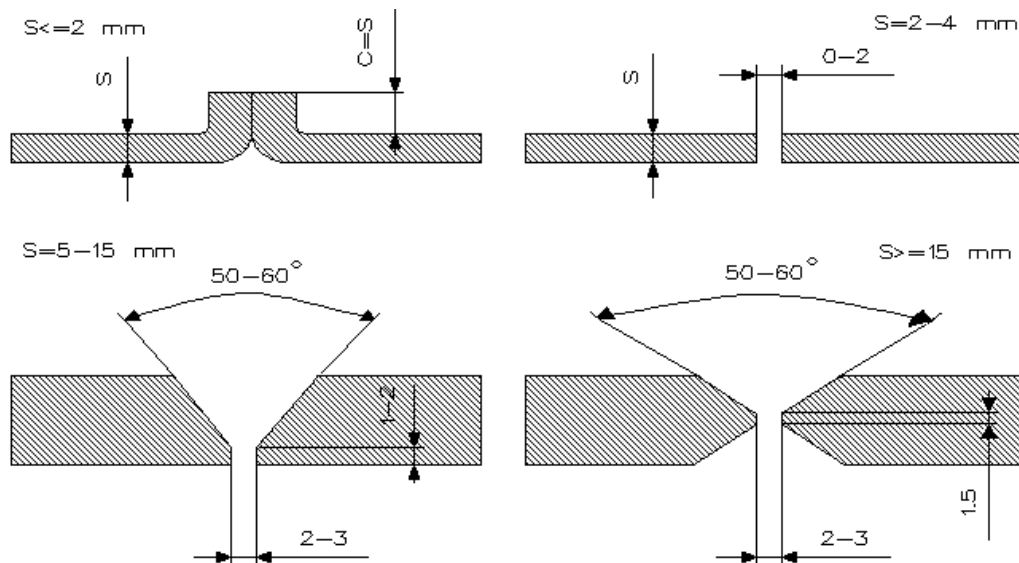


Obr. 2. Typy plamene: a) neutrální, b) redukční.

Pro výběr svařecího hořáku platí pro svařování hliníku stejná pravidla jako pro svaření oceli. Tedy například pro svaření plechů tl. 3 mm použijeme hořák rozměru 2-4. Vzdálenost hrotu hořáku od základního materiálu by měla být asi 1/2 délky bíle svítícího kužele.

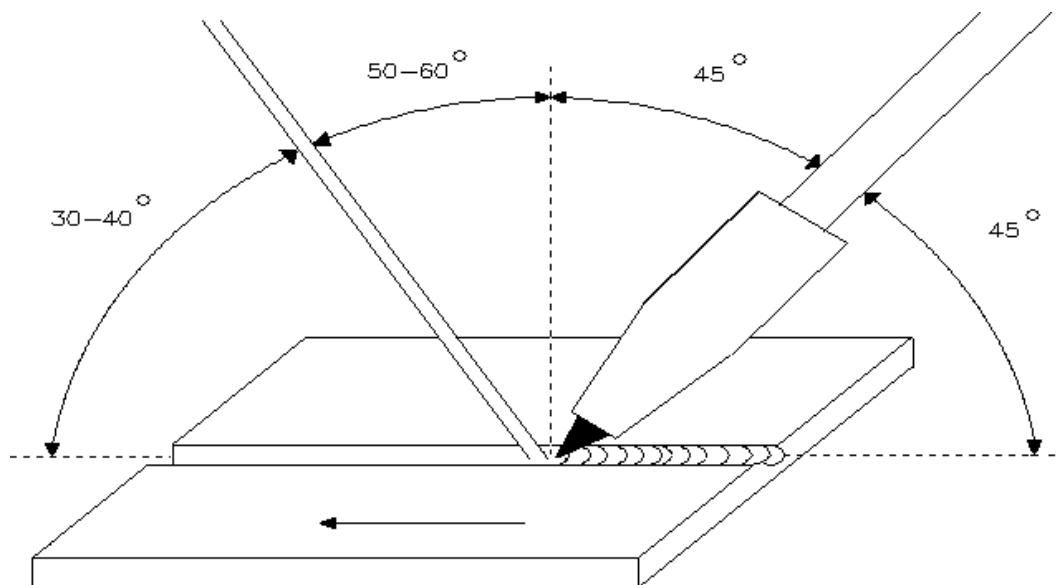
Stejně jako u ocelí lze svařovat bez přídavného materiálu (lemové a tupé spoje plechů malých tloušťek) nebo s přídavným materiálem. Přídavné materiály se dodávají nejčastěji ve formě metrových drátů o průměrech 1.6, 2.4 a 3.2 mm. Používají se shodné přídavné materiály jako pro svařování metodou TIG, viz kap. 8. V případě nouze nebo neznáme-li přesné chemické složení základního materiálu je možné použít odstřížky svařovaných plechů. Obecně platí, že pro svařování součástí z hliníkových slitin by měl přídavný materiál mít stejné či alespoň podobné chemické složení, aby se vlastnosti svarového kovu maximálně podobaly vlastnostem přídavného materiálu. Při svařování čistého hliníku by přídavný materiál měl být stejné či vyšší čistoty. Příprava přídavného materiálu je shodná s přípravou základního materiálu. Je tedy nutné jej před svařováním dokonale očistit a odmastit. Jinak mohou případné nečistoty způsobovat chyby ve svarech.

Příprava základního materiálu spočívá v jeho očištění a úpravě svarových ploch. O možnostech čištění bylo podrobně pojednáno v kapitole 3. Lze jen dodat, že při použití drátěného kartáče by kartáč měl být z nerez oceli a měl by být používán pouze na hliník. Jinak by částičky jiných kovů mohly být příčinou koroze. Úprava svarových ploch je naznačena na následujícím obrázku.



Obr. 3. Úprava svarových ploch před svařováním plamenem.

Před vlastním svařováním je vhodné základní materiál přehřát na teplotu asi 150 - 300 °C. Svařování se provádí postupem levosměrným bez ohledu na tloušťku svařovaných součástí. Svařování doprava lze použít jen ve vyjimečných případech, kdy požadujeme minimální tepelné ovlivnění materiálu. Jsou však problémy s přidáváním přídatného drátu. Postup svařování a polohy hořáku a drátu zachycuje obrázek č. 4.



Obr. 4. Postup při sváření plamenem.

Na začátku svařování je hořák kolmo na základní materiál. Vzhledem k tomu, že hliník nemění svou barvu ani při vysokých teplotách, je nutné začátek tvorby tavné lázně vysledovat např. přidavnou tyčkou. Svařujeme zásadně v poloze vodorovné. Svařování v jiných polohách lze použít jen v nevyhnutelných případech, kontrola tavné lázně je potom velmi obtížná. Parametry pro svaření hliníku plamenem jsou souhrně uvedeny v tabulce 2 na následující straně.

Během svařování pomáhá odstraňovat vrstvičku Al_2O_3 vhodné tavidlo. Příklad složení takového tavidla byl uveden v kap. 3. Kromě schopnosti odstraňovat Al_2O_3 , musí tavidlo dokonale smáčet povrch základního materiálu a nesmí tvořit nadměrné množství zdraví škodlivých látek. Teplota tání tavidla musí být jen o málo nižší než teplota tání základního materiálu. Po svařování je nutné dokonale odstranit zbytky tavidla, jinak hrozí zkorodování svarového spoje a jeho blízkého okolí.

Tab. 2. Parametry pro sváření plamenem.

Tl. plechu [mm]	0.5-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-15
Ø přidavného materiálu [mm]	2	3	4-5	5-6	5-6	6-8
Ø otvoru špičky svářecího hořáku [mm]	0.8	0.6- 1.0	0.8- 1.2	1.0- 1.4	1.5- 2.0	2.0- 2.5
tlak kyslíku [MPa]	nad 0.1	0.1- 0.15	0.15- 0.25	0.2- 0.35	0.3- 0.6	0.4- 0.8
tlak acetylenu [MPa]	nad 0.1	0.1- 0.15	0.15- 0.25	0.2- 0.35	0.3- 0.6	0.4- 0.8

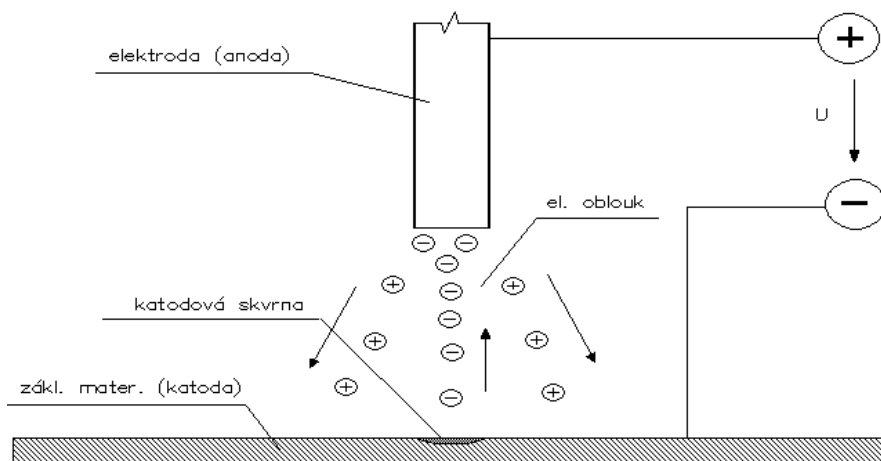
Pro zajištění bezpečnosti platí při sváření hliníku stejné podmínky jako při sváření ocelí. Navíc je nutné v místě svařování dokonale odvětrávat nebo odsávat škodliviny uvolňující se z tavidla. Svářecské brýle je pro sváření hliníku vhodné opatřit speciálními skly modré barvy.

6. Svařování elektrickým obloukem.

Při svařování elektrickým obloukem se k natavení základního i přídavného materiálu využívá energie elektrického výboje mezi dvěma elektrodami v plynném prostředí. Jednou z elektrod je základní materiál (svařovaná součást), druhou elektrodu tvoří obvykle tavící se elektroda, která je zároveň přídavným materiálem (obalená elektroda, MIG), nebo netavící se wolframová (TIG) resp. uhlíková elektroda. Plynným prostředím může být vzduch (uhlíková elektroda) nebo častěji speciální ochranný plyn. Pro možnost nebezpečí naplynění svarového kovu je však třeba přístupu vzduchu k svarové lázni zabránit. Ochranný plyn se přivádí k místu svařování speciálními hořáky (svařování v ochranných atmosférách), nebo vzniká přímo v místě svařování hořením obalu obalené elektrody.

Při svařování hliníku lze s výhodou využít tzv. čistícího účinku elektrického oblouku. Pro dosažení tohoto efektu je nutné použít tzv. obrácenou polaritu, kdy základní materiál je připojen na záporný pól zdroje stejnosměrného svářecího proudu (tvoří tedy katodu) a svářecí elektroda je připojena na pól kladný (tvoří anodu). Tok elektrického proudu je vyvolán pohybem elektronů od katody k anodě. Na katodě se vytvoří tzv. katodová skvrna, což je oblast s nejvyšší emisí elektronů. Katodová skvrna má tendenci vyhledávat na katodě místo s nejvyšším elektrickým potenciálem, které je v případě hliníku tvořeno vrstvičkou oxidu Al_2O_3 . Díky své energii skvrna oxid spolehlivě odpaří. Nevýhodou při obrácené polaritě je vysoké tepelné zatížení zejména netavící se elektrody. V následujících odstavcích budou podrobněji popsány nejrozšířenější metody svařování elektrickým obloukem, tedy ruční svařování obalenou elektrodou, svařování metodou MIG a svařování metodou TIG. Metoda svařování uhlíkovou elektrodou nebude vzhledem k její minimální rozšířenosti podrobněji popisována. Bližší popis lze nalézt např. v [7].

Z hlediska zajištění bezpečnosti práce a ochrany zdraví, platí při svařování hliníku elektrickým obloukem stejné zásady jako při svařování ocelí.



Obr. 5. Elektrický oblouk.

6.1. Svařování obalenou elektrodou.

Technologie ručního svařování hliníku obalenou elektrodou se příliš neliší od svařování ocelí. Přesto však tato metoda není příliš rozšířena ve výrobě, ale spíše při opravách a údržbě. Zejména při opravách vadných či poškozených výrobků. Z těchto oblastí je ale také pomalu vytlačována metodou TIG. Oproti svařování plamenem spočívají její výhody ve vyšší efektivnosti a nižším tepelném ovlivnění materiálu. Oproti metodám svařování v ochranných atmosférách zase v dostupnosti zdroje svářecího proudu. Používané zdroje se nijak neliší od zdrojů pro sváření ocelí. Používané obalené elektrody jsou popsány v kapitole 8. Obal elektrody plní následující hlavní funkce:

- při hoření uvolňuje plyn, který zamezuje přístupu vzduchu ke svarové lázni.
- obsahuje prvky pomáhající rozpustit oxidickou vrstvu na povrchu svařovaných součástí.
- stabilizuje oblouk a vytváří dobře odstranitelnou strusku pro dobré formování svarové housenky.

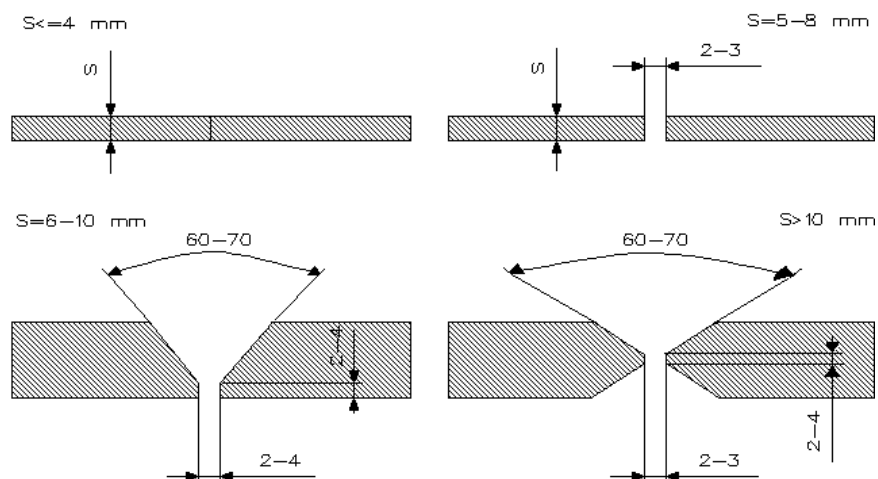
Jak bylo zdůrazněno v předešlé kapitole elektroda se připojuje na kladný pól zdroje proudu. Zvláštní pozornost je potřeba věnovat skladování elektrod, neboť obal nesmí navlhnout. V případě potřeby je možné elektrody před svařováním přesušit při teplotě 120 - 150 °C. Elektrody se vyrábějí v průměrech nejčastěji 2,5, 3,2 a 4mm. Vhodný průměr elektrody lze zvolit např. dle následujícího vztahu:

$$D = S - 1 \text{ [mm]} \quad \text{pro } S \leq 6 \text{ mm}$$

$$D = \frac{S}{2} + 3 \text{ [mm]} \quad \text{pro } S > 6 \text{ mm}$$

Kde: D je průměr elektrody a S je tloušťka svařovaného materiálu.

Svařované součásti postačí před svařováním očistit drátěným kartáčem. Úprava svarových ploch je znázorněna na následujícím obrázku.



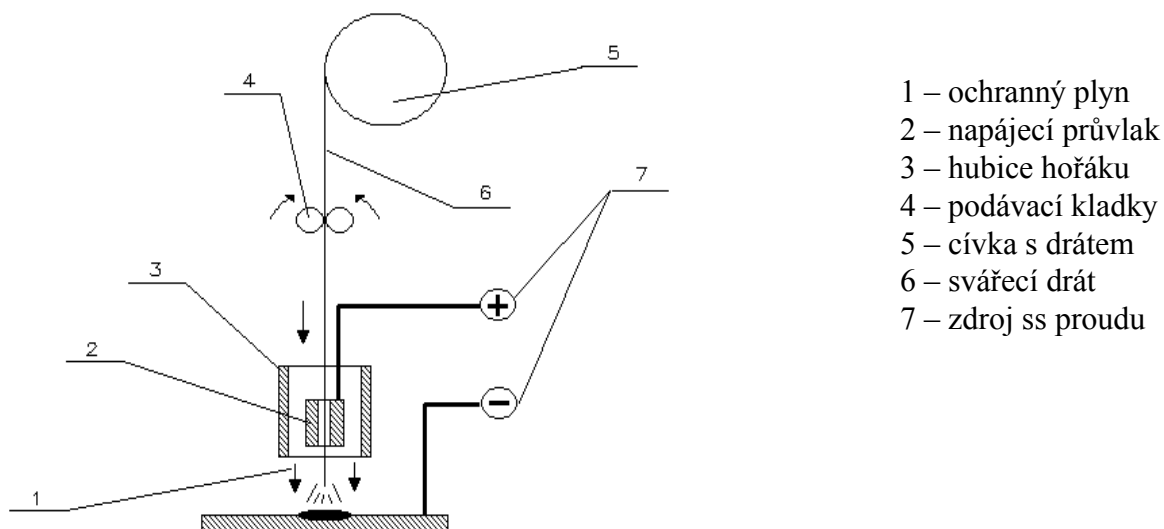
Obr. 6. Úprava svarových ploch před svařováním obalenou elektrodou.

6.2. Svařování v ochranných atmosférách.

Svařování v ochranných atmosférách je v současnosti nejrozšířenější způsob svařování vůbec. Elektrický oblouk hoří v atmosféře ochranného plynu, který ochraňuje svarovou lázeň před účinky vzduchu. Plyn je na rozdíl od obalených elektrod přiváděn k místu svařování z tlakových lahví či centrálních rozvodů, pomocí speciálních svářecích hořáků. Podle účinku plynu na svarovou lázeň se ochranné plyny rozdělují na inertní neboli netečné (Ar, He) a aktivní (CO_2 , H_2). Pro sváření hliníku a jeho slitin se používají výhradně inertní plyny Ar, He nebo jejich směsi, viz kap. 8. Dále lze svařování v ochranné atmosféře rozdělit na svařování tavící se elektrodou a netavící se elektrodou. Obě metody jsou vhodné pro sváření hliníku a jejich podrobný popis následuje.

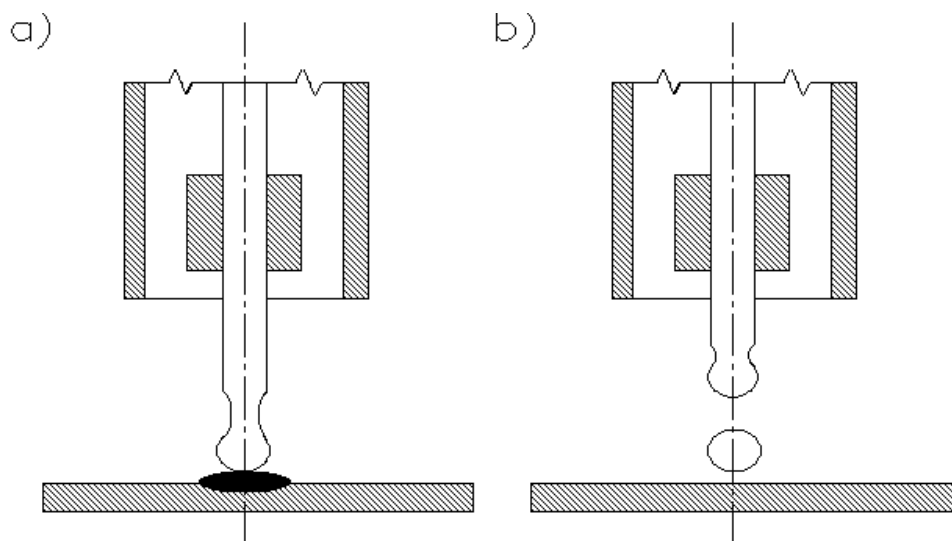
6.2.1. Svařování tavící se elektrodou MIG.

Zkratka MIG (Metall Inert Gass) označuje metodu svařování odtavující se elektrodou v atmosféře inertního plynu. Jedná se o velice efektivní metodu vhodnou také pro automatizované svařování. Její princip zachycuje obr. 7.



Obr. 7. Princip MIG svařování.

Elektrodou je zde holý drát navinutý na cívce, který je kladkovým podavačem, konstantní rychlostí přes napájecí průvlak umístěný uvnitř ochranné hubice na konci hořáku, podáván do svarové lázně. Drát je současně přídavným materiálem. Napájecí průvlak je připojen na kladný pól zdroje stejnosměrného svářecího proudu. Katodu stejně jako u sváření obalenou elektrodou tvoří základní materiál. Hubicí hořáku je k místu svaru přiváděn ochranný plyn. Z hlediska přenosu přídavného materiálu do svarové lázně rozeznáváme dva druhy procesů (viz obr. 8.):



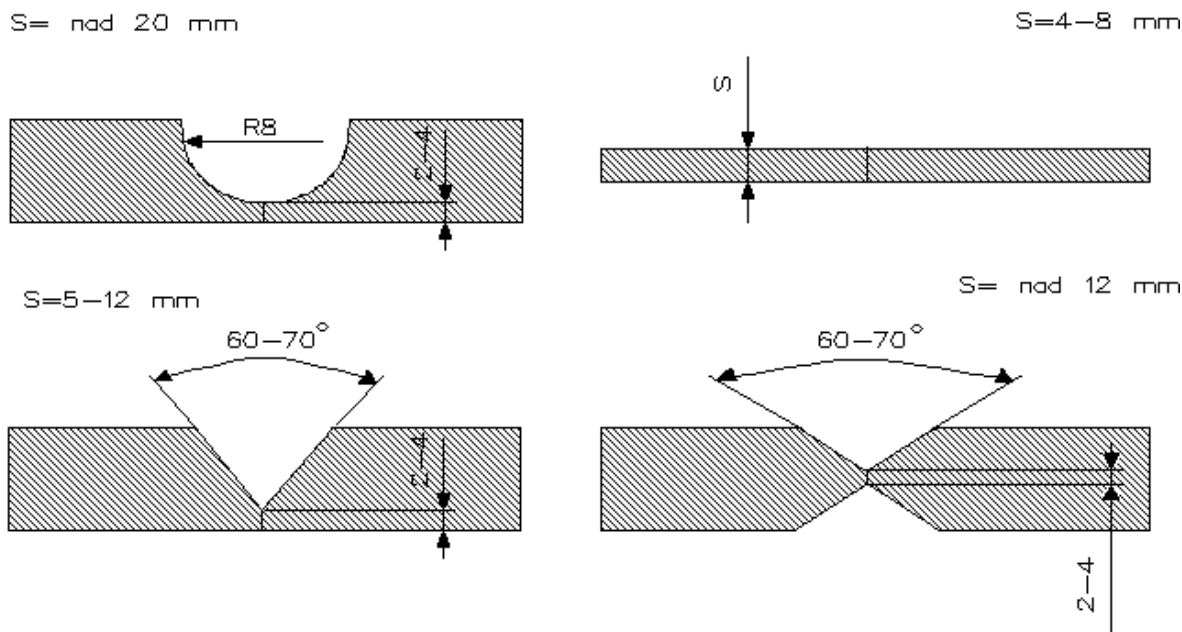
Obr. 8. a) zkratový proces, b) bezkratový (sprchový) proces.

- a) **Zkratový proces** - tvořící se kapka vytváří vodivý můstek mezi elektrodou a tavnou lázní a tak vzniká zkrat ve svařovacím obvodu. Špičkový zkratový proud zvýší teplotu vodivého můstku a urychlí odtavení kapky. Frekvence odtavování je asi 200 - 300 kapek za sekundu. Tento proces klade vysoké nároky na dynamické vlastnosti zdroje svařecího proudu. Používá se při svařování tenkých plechů a při sváření větších tloušťek v montážních polohách, kdy se svařuje menšími proudy.
- b) **Bezkratový proces** - při tomto procesu je průměr kapky vždy menší než vzdálenost elektrody a tavné lázně. Tento proces vzniká při vyšším proudovém zatížení elektrody. V praxi se používá pro svařování větších tloušťek materiálů v poloze vodorovné shora.

Přídavné materiály pro metodu MIG se dodávají ve formě drátů o průměru 0.8 - 2.4 mm navinutých na cívkách. Dráty mají speciální povrchovou úpravu zvyšující tvrdost povrchu. Tím je zajištěno spolehlivé podávání pomocí kladek. Vysoké požadavky jsou kladeny na přesné dodržení hodnoty průměru drátu, aby byl drát spolehlivě napájen po celé délce napájecího průvlastku. Vhodné přídavné materiály a jejich použití viz kap. 8.

Z hlediska přípravy základního materiálu opět postačí jeho očištění drátěným kartáčem těsně před svařováním. Doporučený je také předehřev na teplotu 150 - 300 °C. Úprava svarových ploch je na obrázku 9.

Používaná zařízení pro svařování hliníku metodou MIG se v zásadě neliší od zařízení pro sváření ocelí. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat podávání drátu, protože hliník je velmi měkký, což může být zdrojem problémů. Používají se teflonové bowdeny pro vedení drátu v hořáku. Maximální délka hořáku by při klasickém tlačném podávání měla být asi 3 m.



Obr. 9. Úprava svarových ploch před svařováním MIG.

Podávací kladky nesmí deformovat drát, jinak vznikají problémy s napájením drátu v průvlaku. Používají se tedy kladky s profilem drážky ve tvaru půlkruhu. Výhodné je použití čtyřkladkového podavače, který disponuje větší adhezí při nižším nutném přitlaku. Doporučuje se použití průvlaků s většími otvory kvůli velké tepelné roztažnosti hliníku.

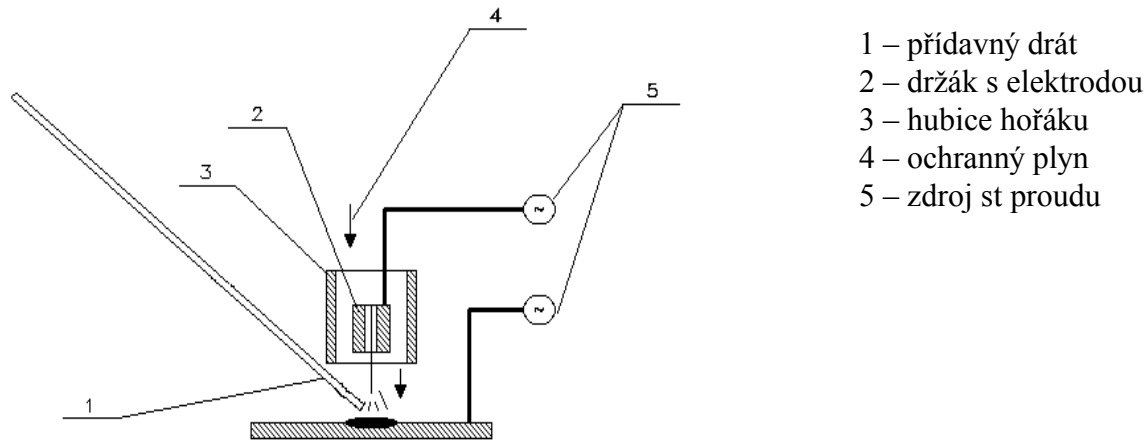
V poslední době se začíná prosazovat tzv. pulsní MIG svařování. Je vhodné pro svaření v nucených polohách a v případech, kdy je kladen důraz na estetické provedení svarové housenky. Konstantní stejnosměrný proud je při této metodě nahrazen sérií pulsů s definovanou střední hodnotou proudu. Výsledkem je tzv. penízkový svar.

6.2.2. Svařování netavící se elektrodou TIG.

Metoda TIG (Tungsten Inert Gass) někdy také označovaná jako WIG (Wolfram Inert Gass) je v současné době nejprogressivněji rozvíjející se metodou svařování kovů vůbec. Opět se jedná o svařování elektrickým obloukem v ochranné atmosféře inertního plynu. Nejčastěji argonu, helia resp. jejich směsí. Oblouk hoří mezi základním materiálem a netavící se elektrodou. Netavící se elektrody jsou zhotoveny z wolframu, aby odolávaly vysokému tepelnému zatížení. Kromě čistého wolframu se používá wolframu legovaného vybranými prvky zejména thoriem, ceriem či zirkoniem. Svařuje se, obdobně jako plamenem, bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem, který je přidáván do tavné lázně. Schematicky je princip TIG svařování na obrázku č. 10.

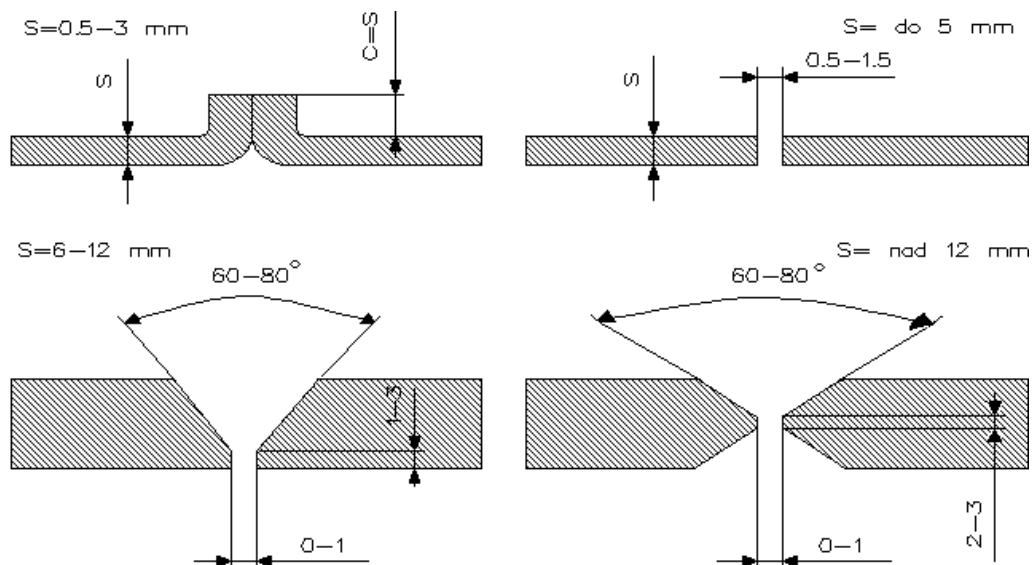
Oproti předešlým metodám není vhodné zapojení netavící se elektrody na kladný pól svářecího zdroje vzhledem k jejímu vysokému tepelnému zatížení. Při zapojení na záporný pól zdroje je toto zatížení podstatně nižší, ale nelze využít čistícího efektu elektrického oblouku.

Hliník a jeho slitiny se tedy metodou TIG svařují střídavým proudem, kdy v jedné půlperiodě dochází k čištění materiálu a ve druhé je tepelný nápor na elektrodu snížen a využit k tvorbě



Obr. 10. Princip TIG svařování.

tavné lázně. Moderní svařovací zařízení pro TIG pracují na principu řízeného přepínání polarity. V první fázi je elektroda připojena na kladný pól zdroje. Při poklesu napětí na oblouku (odpaření Al_2O_3) je polarita přepojena a elektroda se stává katodou a základní materiál anodou. V okamžiku kdy napětí na oblouku dosáhne nastavené hodnoty je polarita opět přepojena a materiál se čistí. Tento proces zajišťuje minimalizaci tepelného namáhání elektrody při zachování potřebného čistícího účinku elektrického oblouku.



Obr. 11. Úprava svarových ploch před svařováním TIG.

Přídavné materiály se neliší od materiálů pro svařování hliníku plamenem (kap. 8). Příprava základního materiálu je shodná s předešlými metodami svařování el. obloukem. Úprava hran je na obrázku 11.

TIG svařování je vhodné zejména na svařování menších tloušťek stěn (asi 1 až 6 mm). Svary jsou velice úhledné a téměř nevyžadují opracování. Zvláštní péči je třeba věnovat elektrodám, které jsou křehké a snadno se lámou. Naproti tomu rychlost svařování je oproti MIG svařování nižší a velikost tepelně ovlivněné zóny je větší. Přehled základních parametrů při svařování metodou TIG je souhrnně uveden v následující tabulce:

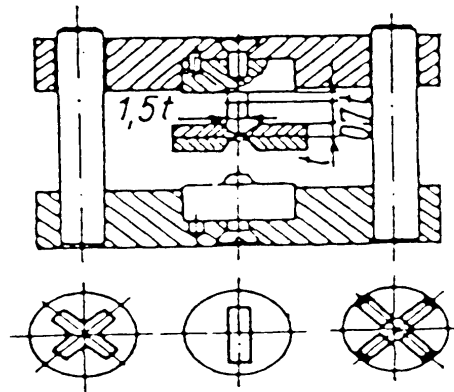
Tab. 2. Parametry pro sváření hliníku metodou TIG.

Tloušťka plechu [mm]	Průměr W elektr. [mm]	Průměr příd. drátu [mm]	Svářecí proud [A]	Spotřeba argonu [l/min]	Rychlost svařování [mm/min]
1	1-1.5	2	45-60	5-7	320
1.5	1.5-2.5	2-2.5	55-80	6-8	300
2	2.5	3	80-110	6-9	300
2.5	2.5	3-4	90-120	6-9	290
3	3	4	110-150	6-9	280
4	3-4	4	140-170	7-10	270
5	4-5	4-6	160-210	9-12	260
6	5-6	4-6	210-270	11-15	240
7	5-6	5-6	250-290	11-15	230
8	5-6	5-6	280-320	12-15	210

7. Jiné způsoby svařování.

Z jiných metod svařování hliníku je nutné zmínit svařování tlakem za studena a odporové svařování. Podstatně méně rozšířené je svařování termitem nebo třením.

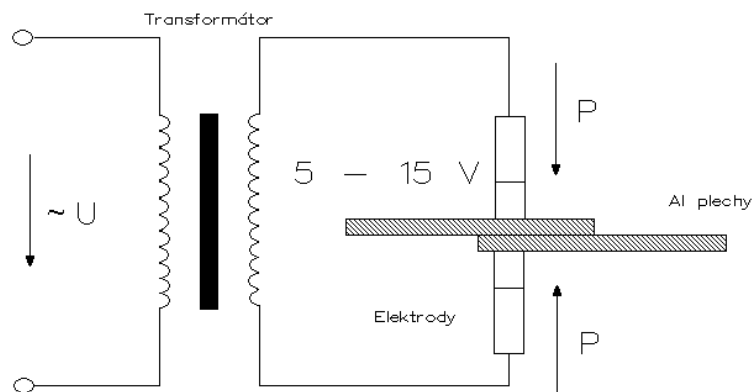
Svařování tlakem za studena se v hojně míře používá pro spojování vodičů z čistého hliníku. Při dokonale odstraněné oxidické vrstvě vznikne působením velkého tlaku a deformace dokonalý metalický spoj, bez nutnosti ohřevu materiálu. Svařuje se ve speciálních přípravcích viz obr. 12.



Obr. 12. Přípravek pro svařování hliníku tlakem za studena.

Při elektrickém odporovém bodovém nebo švovém svařování se dílce zahřívají průchodem el. proudu a vlivem přítlaku napájecích elektrod vznikne nerozebíratelné spojení součástí. Používá se výhradně pro přeplátované spoje namáhané na smyk, jako rychlejší alternativa nýtování. Maximální tloušťka spojovaných plechů je v praxi do 3 mm. Oproti odporovému svařování ocelí jsou nutné delší svařovací časy vlivem tepelné vodivosti hliníku. Samozřejmostí je opět dokonalé očištění spojovaných ploch. Schematicky je princip odporového svařování znázorněn na obr. 13.

Kromě svařování lze hliník také pájet metodou měkkého i tvrdého pájení. Bližší informace o pájení lze nalézt například v [7].



Obr. 13. Princip odporového svařování.

8. Přídavné materiály fy. ESAB pro svařování hliníku.

V současné době (stav k 5/2003) je na trhu k dispozici široká nabídka přídavných materiálů pro svařování hliníku a jeho slitin od různých více či méně renomovaných výrobců. Na našem trhu je nejvíce etablována společnost ESAB vlastníci mimo jiné bývalé Železářny Vamberk, které byly svého času monopolními výrobci přídavných materiálů pro svařování v celé RVHP. Pro svařování hliníku a jeho slitin firma nabízí poměrně široký sortiment přídavných materiálů pro různé metody svařování. V dalších odstavcích jsou uvedeny přídavné materiály dostupné na našem trhu. Podrobné technické parametry těchto materiálů lze nalézt např. v [6].

Pro ruční svařování elektrickým obloukem obalenou elektrodou jsou k dispozici následující elektrody:

OK 96.10 (ES 641) - pro svařování součástí z tvářeného i litého hliníku
Doporučený přehřev 200 - 250 °C.

OK 96.40 (ES 642) - pro svařování slitin typu AlSi5, AlMgSi, AlCuMg.
Doporučený přehřev 200 - 250 °C.

OK 96.50 (ES 643) - pro svařování slitin typu AlSi12.
Vhodné na opravy odlitků. Doporučený přehřev 200 - 250 °C.

OK 96.20 - pro svařování tvářených součástí a profilů ze slitin AlMn a hliníkových slitin s obsahem max. 3 % Mg.

Označení ES 64x v závorce je původní označení ŽAZ Vamberk. V současné době jsou tyto elektrody prodávány pod tradičním označením OK 96.xx. Všechny elektrody lze používat ve všech polohách kromě polohy nad hlavou a shora dolů. Elektrody se připojují na kladný pól zdroje stejnosměrného proudu. Pro drážkování a dělení nejen hliníkových materiálů lze použít s výhodou elektrodu **OK 21.03** (\approx / = -).

Pro svařování elektrickým obloukem v chranných atmosférách je určen následující sortiment přídavných drátů. Dráty označené slovem AUTROD jsou určeny pro svařování metodou MIG, dráty TIGROD pro metodu TIG.

OK AUTROD 18.01 drát pro svařování čistého hliníku typu
OK TIGROD 18.01 Al 99.5 %. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.

OK AUTROD 18.04 drát pro svařování slitin typu AlMgSi a
OK TIGROD 18.04 AlSi s obsahem Si do 7 %.
Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.

OK AUTROD 18.05 drát pro svařování slitin typu AlMgSi a
OK TIGROD 18.05 AlSi s obsahem Si nad 6 %. Vhodný k opravám odlitků.
Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.

OK AUTROD 18.11 OK TIGROD 18.11	drát pro svařování čistého hliníku obsahující malé množství Ti pro zjemnění zrna a omezení nebezpečí vzniku trhlin. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.
OK AUTROD 18.13 OK TIGROD 18.13	drát typu AlMg3 pro svařování slitin s obsahem Mg do 3 %. Vhodný i pro pracovní teploty převyšující 70 °C. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.
OK AUTROD 18.15 OK TIGROD 18.15	drát typu AlMg5 pro svařování slitin s obsahem Mg do 5%. Má vyšší odolnost proti trhlinám než 18.13. Vhodný pro svařování slitin odolných mořské vodě. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.
OK AUTROD 18.16 OK TIGROD 18.16	drát typu AlMg4.5Mn pro svařování slitin s obsahem Mg do 6 %. Má vyšší pevnost i odolnost proti mořské vodě než 18.15. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.
OK AUTROD 18.17 OK TIGROD 18.17	drát typu AlMg4.5MnZr pro svařování slitin s obsahem Mg do 5 %. S požadavkem na vyšší pevnost. Legování Zr zlepšuje odolnost proti trhlinám za horka při tuhnutí svarového kovu. Přehřev 150 - 200 °C, Interpass 150 °C.

Dráty AUTROD se připojují na kladný pól stejnosměrného svářečského zdroje, pro dráty TIGROD je nutné použít zdroj střídavého proudu. Doporučené ochranné atmosféry jsou: Ar, He, popř. směs Ar + He v poměru 0 až 95 % He, zbytek argon. Čistý Argon (čistota 4.6, 4.8) je vhodný na svařování menších tloušťek materiálů cca do 10 mm. Pro větší tloušťky je vhodná směs Ar+He v poměrech 70%+30% nebo 50%+50%. Dráty AUTROD se standardně dodávají na cívkách s návinem 6 nebo 7 kg drátu, dráty TIGROD jako metrové dráty v krabicích 5 kg. Dráty typu TIGROD lze také použít pro sváření plamenem.

V současné době jsou přídatné materiály ESAB dodávány v těchto průměrech:

Elektrody:	2.5, 3.2 a 4.0 mm	délka 350 mm
Dráty MIG:	0.8, 1.0, 1.2, 1.6, drát 18.01 také 2.4 mm	cívky 6 nebo 7 kg
Dráty TIG:	1.6, 2.0, 2.4, 3.2 a 4,0	délka 1000 mm

9. Závěr - perspektivy využití hliníku.

Hliník a jeho slitiny je již dnes využíván prakticky ve všech oblastech lidské činnosti. Bohatou měrou je využívána korozivzdornost a nízká hmotnost při současně vysoké pevnosti některých slitin hliníku při výrobě dopravních prostředků a stavebních konstrukcí. Jeho využití se v těchto oborech bude nadále zvyšovat. Například konstruktéři automobilů jsou posedlí myšlenkou tzv. třilitrového automobilu. V tomto případě se nejedná o automobil s motorem o objemu tři litry, ale o automobil se spotřebou pohonných hmot do tří litrů na 100 km. Vedle řady dalších faktorů ovlivňujících hodnotu spotřeby automobilu hraje značnou roli celková hmotnost vozidla, kterou lze právě využíváním lehkých a přitom pevných hliníkových slitin značně snížit při zachování stávající bezpečnosti. Naproti tomu ale první sériově vyráběný automobil s celohliníkovou samonosnou karoserií je luxusní limuzína Audi A8.

Podobná situace je i v leteckém průmyslu, kde se očekává masové nasazení slitin typu Al-Li (viz kap. 2), jen co se podaří dokonale zvládnout technologii výroby těchto extrémě lehkých materiálů. Bude pokračovat využívání hliníkových materiálů ve stavebních konstrukcích a konstrukcích vystavených nepříznivým vlivům jako např. mořské vodě.

V případě čistého hliníku se vývoj bude ubírat směrem k vyšším čistotám, které umožní zmenšit plochu vodičů při zachování stejné elektrické vodivosti. To povede k dalším úsporám na hmotnosti a velikosti elektrotechnických zařízení.

Vývoj hliníkových materiálů samozřejmě sledují i výrobci svařecí techniky a přídavných materiálů a v souladu s vývojem nových slitin nabízejí nové technologie pro jejich svařování.

10. Seznam použité literatury.

- [1] Pluhař J., Koritta J.
"Strojírenské materiály"
SNTL/SVTL, Praha 1966
- [2] Kolář V.
"Navrhování hliníkových konstrukcí"
Příspěvek k materiálové problematice pro studenty WI
- [3] Macek K., Zuna P.
"Nauka o materiálu"
Učební texty pro studenty WI
- [4] ČSN EN ISO 9606-2
Norma pro zkoušky svářečů, část 2:Hliník a jeho slitiny
Český normalizační institut, 2005
- [5] ČSN EN 30042
Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním.
Norma pro určování stupňů jakosti.
Český normalizační institut, 1995
- [6] Katalog přídavných materiálů pro svařování.
ESAB VAMBERK s.r.o., Květen 2002
- [7] Novotný J.
"Zváranie hliníka"
Skriptum VÚZ, Bratislava 1984
- [8] Hrivňák I.
"Zváranie hliníka a jeho zliatin"
Článek v EUROWELDING revue 1997
- [9] Bernasová E. a kol
"Svařování"
SNTL, Praha 1987
- [10] Schenzinger K. A.
"KOV - román zlata, stříbra, železa, hliníku a hořčíku"
Orbis Praha, 1943
- [11] ČSN 05 0705
Norma pro základní zkoušky svářečů
Český normalizační institut, 2002

11. Dodatek.

Změna obchodních názvů svářecích materiálů ESAB pro hliník a jeho slitiny

Od 1.1. 2005 zavedla firma ESAB nové označení stávajících přídavných materiálů pro svařování hliníku a jeho slitin v ochranných atmosférách. Toto nové označení je v souladu s nově schválenou normou ČSN EN ISO 18273. Nové označení je uznávané a používané v celosvětovém měřítku a usnadňuje orientaci zákazníků v těchto materiálech. Porovnání starého a nového značení je v následující tabulce.

Srovnávací tabulka starého a nového značení nejběžnějších materiálů pro MIG a TIG:

Označení ESAB		AWS A5.10	Původní DIN 1732		Nová EN ISO 18273	
Současné	Nové		numericky	chemicky	numericky	chemicky
vinuté dráty						
OK Autrod 18.01	OK Autrod 1070		3.0259	Al99,5	S Al 1070	S Al99,7
OK Autrod 18.04	OK Autrod 4043	ER4043	3.2245	AlSi5	S Al 4043/Al 4043(A)	S AlSi5/AlSi5(A)
OK Autrod 18.05	OK Autrod 4047	ER4047	3.2585	AlSi12	S Al 4047/Al 4047(A)	S AlSi12/AlSi12(A)
OK Autrod 18.11	OK Autrod 1450		3.0805	Al99,5Ti	S Al 1450	S Al99,5Ti
OK Autrod 18.13	OK Autrod 5754		3.3536	AlMg3	S Al 5754	S AlMg3
OK Autrod 18.15	OK Autrod 5356	ER5356	3.3556	AlMg5	S Al 5356/Al 5356(A)	S AlMg5Cr(A)
OK Autrod 18.16	OK Autrod 5183	ER5183	3.3548	AlMg4,5Mn	S Al 5183/Al 5183(A)	S AlMg4,5Mn0,7(A)
OK Autrod 18.17	OK Autrod 5087		3.3546	AlMg4,5MnZr	S Al 5087	S AlMg4,5MnZr
metrové dráty						
OK Tigrod 18.01	OK Tigrod 1070		3.0259	Al99,5	S Al 1070	S Al99,7
OK Tigrod 18.04	OK Tigrod 4043	ER4043	3.2245	AlSi5	S Al 4043/Al 4043(A)	S AlSi5/AlSi5(A)
OK Tigrod 18.05	OK Tigrod 4047	ER4047	3.2585	AlSi12	S Al 4047/Al 4047(A)	S AlSi12/AlSi12(A)
OK Tigrod 18.11	OK Tigrod 1450		3.0805	Al99,5Ti	S Al 1450	S Al99,5Ti
OK Tigrod 18.13	OK Tigrod 5754		3.3536	AlMg3	S Al 5754	S AlMg3
OK Tigrod 18.15	OK Tigrod 5356	ER5356	3.3556	AlMg5	S Al 5356/Al 5356(A)	S AlMg5Cr(A)
OK Tigrod 18.16	OK Tigrod 5183	ER5183	3.3548	AlMg4,5Mn	S Al 5183/Al 5183(A)	S AlMg4,5Mn0,7(A)
OK Tigrod 18.17	OK Tigrod 5087		3.3546	AlMg4,5MnZr	S Al 5087	S AlMg4,5MnZr