

# Technologie svařování hliníku a jeho slitin



Ing. Jiří Hajdík, Ing. Michal Heinrich, Český svářečský ústav, Ostrava

**Obloukové svařování v ochranných plynech metodami MIG a TIG jsou v dnešní době nejužívanějšími metodami v praxi, které se mohou využívat i pro svařování hliníku a jejich slitin. Metoda TIG vznikla již ve 30. letech 20. století, kdežto metoda MIG byla vynalezena v polovině 20. století. Svařování netavicí se elektrodou (TIG) je považováno za progresivnější metodu, a to z hlediska dosažitelné kvality svarových spojů a vyšší operativnosti této metody v různých polohách. Metoda s tavící se elektrodou v ochranném plynu (MIG) je považována za více produktivní a ekonomickou. Nicméně je také možné docílit požadované kvality svarových spojů i touto metodou.**

## 1 HLINÍK A HLINÍKOVÉ SLITINY

V případě svařování hliníku a jeho slitin se bavíme o konstrukčních materiálech. Ty jsou rozděleny do dvou skupin na:

- a) technický hliník (obsahuje min. 99 % Al),
- b) hliníkové slitiny (s obsahem legur min. nad 1 %).

Kvalita technického hliníku závisí především na jeho čistotě. Během výrobního procesu technického hliníku se do tavby mohou dostat nečistoty, zejména z rudy (bauxit), která obsahuje železo a křemík. Tyto nečistoty mají vliv na svařitelnost a také na mechanické vlastnosti technického hliníku. Zpravidla platí, že čím má hliník méně nečistot, tím je jeho kvalita a jeho fyzikální vlastnosti lepší.

V praxi se více setkáváme se slitinami hliníku. Mezi hlavní legující prvky slitin hliníku patří mangan, hořčík, měď, zinek a křemík (Mn, Mg, Cu, Zn, Si). Tyto slitiny jsou převážně nízkolegované, protože rozpustnost legujících prvků v hliníku je relativně malá. I přes malou rozpustnost legujících prvků mohou být mechanické vlastnosti hliníku značně odlišné. Proto se často hliníkové slitiny dělí podle chemického složení do těchto skupin [3]:

1. slitiny Al-Mn (1,5 – 2,5 % Mn), nižší pevnost, korozivzdorné, svařitelné,
2. slitiny Al-Mg (2,0 – 9,0 % Mg), nižší pevnost korozivzdorné, svařitelné,
3. slitiny Al-Mg-Si (do 1 % Mg a do 1 % Si), vyšší pevnost, korozivzdorné,
4. slitiny Al-Cu-Mg (3 – 5 % Cu a cca 1 % Si), vyšší pevnost, pro tepelné zpracování, obtížně svařitelné,
5. slitiny Al-Zn-Mg (3 – 5 % Zn a 1 – 2 % Mg), vyšší pevnost, pro tepelné zpracování, obtížně svařitelné,
6. slitiny Al-Si (5 – 13 % Si), nižší pevnost, svařitelné,
7. jiné hliníkové slitiny.

### 1.1 Základní vlastnosti

Technický hliník a jeho slitiny způsobují ve svařování určité problémy, které je nutné před svařováním eliminovat. Tyto problémy bezprostředně vyplývají z charakteristických vlastností hliníkových konstrukčních materiálů, které je možné shrnout do následujících bodů [1]:

1. Hliník a hliníkové slitiny vytvářejí na svém povrchu vrstvu  $Al_2O_3$  o vysokém bodu tání 2 050 °C, což je asi 3x vyšší než bod tání čistého hliníku Al.
2. Povrchová vrstva  $Al_2O_3$  je elektricky nevodivá.
3. Hliník a hliníkové slitiny mají velkou tepelnou vodivost, což ztěžuje podmínky při místním natahování hliníku obloukem.
4. Nízký modul pružnosti oproti uhlíkovým ocelím může způsobit problémy s deformací svarů a svařovaných konstrukcí.
5. Některé vytvrditelné hliníkové slitiny ztrácejí při teplotě nad 200 °C svou pevnost.
6. Hliník a hliníkové slitiny jsou schopny

v tekutém stavu rozpouštět vodík ve velkém množství, čímž mohou vzniknout dutiny ve svarovém spoji.

7. Plechy malých tloušťek jsou dodávány ve vytvrzeném stavu a v místě svaru a v TOO jejich pevnost klesá.

### 1.2 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování hliníkových slitin se provádí z důvodů zvýšení jejich mechanických vlastností, respektive pevnosti. Je možné je rozdělit do tří typů:

- rozpouštěcí žihání
- kalení
- vytvrzování

V případě, že se svařuje tepelně zpracovaná slitina hliníku, dochází při ohřevu nad 200 °C k vylučování nové fáze a slitina se dostane do vyžhaného stavu. Vyžhaná slitina hliníku tak ztrácí dosaženou pevnost při předešlém tepelném zpracování. Tento proces nastává právě při svařování a je nutné počítat se snížením pevnosti konstrukce v oblasti TOO a svarů, kde je pevnost a tvrdost nejnižší [3].

### 1.3 Podmínky svařitelnosti

Svařitelnost hliníkových slitin se hodnotí především podle pevnosti v tahu svarových spojů a chemického složení materiálu. Dalším z ukazatelů svařitelnosti může být náchylnost svarových spojů na vznik možných defektů.

Základní podmínky svařování hliníkových slitin jsou následující [1,3]:

- Metodou TIG se doporučují svařovat tloušťky 1 – 10 mm.
- Využití střídavého proudu.
- Ochranný plyn Ar, Ar + He.
- Vhodné svařovací parametry.
- Svarové spoje se dále tepelně nezpracovávají.
- Volba vhodného přídavného materiálu (většinou podobného chemického složení jako základní materiál).
- Pro svařování slitiny Al-Cu-Mg se používá výhradně přídavný materiál AlSi5 nebo AlMg5.
- Pro svařování slitiny Al-Mg-Si a Al-Zn-Mg se používá přídavný materiál AlMg5.

### 1.4 Povrchová oxidická vrstva

Povrchová vrstva  $Al_2O_3$  vzniká na každém hliníkovém materiálu. Čelistovitost této vrstvy a pevná vazba se základním materiálem zajišťuje tak korozní odolnost materiálu. Přítomnost této oxidické vrstvy způsobuje při svařování vážné problémy, např. zhoršuje podmínky pro místní natavení materiálu, tvorbu svarové lázně a špatné formování svaru. Základní podmínkou přípravy hliníkových materiálů na svařování je proto odstranění povrchové oxidické vrstvy v celé oblasti svarového spoje a to v šířce min. 15 mm od svarových ploch na obou stranách svařového plechu. Odstraňuje se mechanickou cestou – broušením, třískovým obráběním anebo chemickou cestou – mořením. Čas mezi mořením a svařováním by neměl překročit délku 3 hod. Intenzita vzniku oxidické vrstvy se zvyšuje s teplotou, a proto je nutné během svařovacího pochodu svarovou lázeň a zahřátou oblast dostatečně chránit ochranným plynem [3].

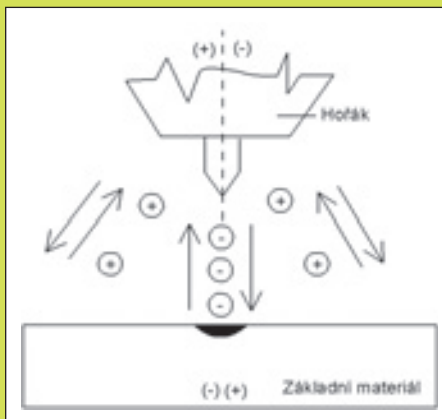
Další podmínkou svařování hliníku a hliníkových slitin je svařování střídavým proudem. Změna polarity během svařovacího procesu mezi hořákem a svařovaným materiálem zajišťuje tzv. čistící účinek.

### 2 SVAŘITELNOST HLINÍKU METODOU TIG

Metoda TIG (Tungsten Inert Gas) je jedna z metod, pomocí které je možné provést kvalitní svarový spoj hliníku a jeho slitin. Výhodou této metody je právě dosažitelná kvalita svarových spojů a také její operativnost při svařování v polohách. Technologie umožňuje přednatahovou obsluhu, přesnou regulaci

parametrů svařování, kontrolu vneseného tepla do svaru a zajišťuje stabilitu oblouku.

Specifickou vlastností metody TIG je jeho schopnost odstraňovat svým fyzikálním účinkem povrchové oxidy na svařovaném materiálu. Tento jev se nazývá čistící účinek. Princip spočívá ve změně polarity mezi hořákem a základním materiálem díky střídavému proudu. Čistící účinek probíhá tehdy, kdy netavicí se elektroda má polaritu kladnou (anoda) a základní materiál má zápornou polaritu (katoda). Svařovací proces probíhá s opačnou polaritou. Tento princip je zobrazen na obrázku 1 [3, 4].



Obr. 1 – Svařování střídavým proudem metodou TIG

### 2.1 Příprava na svařování

Pro tenké plechy se příprava svarových ploch provádí stříháním, pro tlusté plechy se využívá třískového obrábění nebo broušení. Konkrétní případy úprav svarových ploch pro různé typy svarových spojů jsou uvedeny v tabulce č. 2.1. Očištění povrchu se realizuje buď mechanicky (broušením) nebo chemickým způsobem (mořením 15–20 % NaOH). Tato fáze je zvláště důležitá kvůli odstranění oxidické vrstvy  $Al_2O_3$ . Pro odlitky je nutné provést důkladné odmaštění před mořením.

### 2.2 Přídavné materiály

Přídavný materiál pro svařování technického hliníku vyžaduje stejnou čistotu hliníku jako má základní materiál. Na svařování hliníkových slitin typu Al – Mn a Al – Mg se doporučuje použít přídavné materiály stejného chemického složení jako má základní materiál. Pro svařování vytvrditelných a vyžhaných slitin typu AlMgSi, AlCu4Mg a AlZnMg1 se doporučuje přídavný materiál AlMg5 nebo AlSi5 [1, 3].

### 2.3 Ochranné plyny

Ochranné plyny pro metodu TIG jsou především inertní plyny, mezi které se řadí argon, helium nebo jejich směsi. Různé poměry koncentrací směsi hélia s argonem mohou ovlivnit výši přeneseného tepla, což umožní svařovat např. větší tloušťky materiálu.



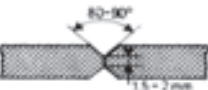
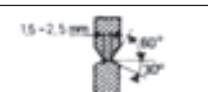
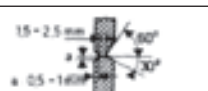




### 3 SVAŘITELNOST HLINÍKU METODOU MIG

Mezi materiály vhodné pro svařování metodou MIG nebo TIG patří především hliníkové slitiny typu Al-Mn, Al-Mg, Al-Si. Svařování vytvrditelných slitin (Al-Cu4-Mg, Al-Zn4-Mg1 a Al-Mg-Si), je obtížnější. Důvodem je tepelný režim způsobený tavným způsobem svařování, kdy již při ohřevu nad 200 °C dochází k poklesu pevnostních vlastností. Ať už jsme se tedy rozhodli pro svařování jakoukoliv metodou je třeba klást důraz na následující hlediska [1, 2]:

1. Správná volba přídavného materiálu.
2. Použití vhodného ochranného plynu.
3. Optimální volba parametrů, případně aplikace předehřevu.

### 3.1 Volba přídavného materiálu

Přídavné materiály pro svařování hliníku a jeho

	Tloušťka materiálu 0,6 až 5,0 mm. Tandemové svařování do tloušťky 12 mm.
	Tloušťka materiálu 1,6 až 5 mm. Svařovat sestehované.
	Tloušťka materiálu 6 až 10 mm. Svařovat sestehované.
	Tloušťka materiálu 4 až 10 mm. Svařovat sestehované.
	Tloušťka materiálu 6 až 10,5 mm. Svařovat sestehované.
	Tloušťka materiálu 0,4 až 1,5 mm. Svařovat bez přídavného materiálu.
	Tloušťka materiálu 0,8 až 1,5 mm. Svařovat sestehované.
	Tloušťka materiálu 0,6 až 5 mm. Svařovat upnuté.
	Tloušťka materiálu 4-10 mm. Svařovat sestehované.

Tabulka 2.1 – Typy svarových spojů pro hliník a jeho slitiny

slitin volíme obdobného chemického složení jako základní materiál. Výjimku mohou tvořit materiály s vyšší náchylností na praskavost svarových spojů. Například při svařování slitiny AlMg3 použijeme přídavné materiály AlMg5 nebo AlMg5Mn, které dávají svarový kov méně náchylný na vznik horkých trhlin. Nevýhodou při volbě této kombinace základního a přídavného materiálu mohou být rozdílné vlastnosti z pohledu rozdílné elektrické vodivosti a odolnosti spojů proti korozi.

Dráty pro svařování hliníku a jeho slitin se dodávají zpevněné po plastické deformaci za studena. Přehled vhodných kombinací přídavného a základního materiálu obsahuje tab. 3.1 [1, 3].

Správná volba přídavného materiálu není jedinou zárukou vytvoření vyhovujícího svarového spoje.

Důležité je také klást důraz na manipulaci s tímto přídavným materiálem v průběhu svařování, tzn. zabránit jakémukoliv znečištění nebo poškození těchto přídavných materiálů. Je nutné taky zabezpečit dokonale podávání drátu do svarové lázně. To znamená zvolit vhodné klady pro podávací mechanismus a upřednostňovat 4kladkový systém podávání drátu.

Značka DIN 1732	Chemické složení (%)						Použití
	Al	Si	Fe	Mg	Ti	Zr	
SG-Al99,8	min. 99,8	max. 0,15	max. 0,15	-	0,03	-	Technický hliník Al99,8
SG-Al99,5	min. 99,5	max. 0,25	max. 0,4	-	0,05	-	Technický hliník Al99,5
SG-Al99,5Ti	min. 99,5	max. 0,2	max. 0,2	-	0,15	-	Technický hliník Al99,5 (jemnozrný)
SG-AlMg3	zbytek	max. 0,2	max. 0,2	3,0	0,15	-	Slitiny Al-Mg s obsahem Mg do 3 %
SG-AlMg5	zbytek	max. 0,25	max. 0,4	5,0	0,15	-	Slitiny Al-Mg s Mg do 5 % a slitiny Al-Zn-Mg
SG-AlMg4,5Mn	zbytek	max. 0,25	max. 0,4	4,8	0,7 Mn	-	Slitiny Al-Mg s Mg do 5 % a slitiny Al-Zn-Mg
SG-AlMg4,5MnZr	zbytek	max. 0,25	max. 0,4	4,7	0,8 Mn	0,15	Slitiny Al-Mg, Mg < 5 % odolnost vůči trhlinám
SG-AlSi5	zbytek	5,0	max. 0,4	-	-	-	Slitiny Al-Si Slitiny Al-Cu-Mg

Tabulka 3.1. – Dráty pro svařování hliníku a hliníkových slitin

### 3.2 Ochranné plyny

Pro svařování se používají inertní plyny: technicky čistý argon, směsi argon + hélium, ojediněle málo aktivní plyny s mírným oxidačním účinkem na bázi argon + kyslík, např. Ar + (1 až 3 %) O<sub>2</sub> [3].

– **Technicky čistý plyn** (např. Argon 4.6) se používá u materiálů malých tloušťek. Oblouk hoří v čistém argonu má v porovnání se směsí nižší tepelný výkon viz. obrázek 2.

– **Směs argon + hélium** se používá při svařování větších tloušťek. Přísadou He se zvýší tepelný výkon oblouku.

– **Směs argon + kyslík** zabezpečuje v porovnání s čistým argonem větší stabilitu oblouku a pravidelnější přenos kovu v oblouku. Jedná se o levnější náhradu za směsné plyny argon + hélium. Obsah kyslíku v argonu (Ar + O<sub>2</sub>) je třeba limitovat vzhledem na oxidační procesy, které probíhají během svařování.

### 3.3 Parametry svařování

Stabilního hoření oblouku u svařování hliníku docílíme při ohřátí povrchu základního materiálu na teplotu 150 až 200 °C. Z toho vyplývá, že

při svařování vícevrstevných svarových spojů je nutné dodržovat teplotu interpass min. 150 °C. Nelze také opomenout aplikaci předehřevu při svařování hliníkových slitin s nízkými plastickými vlastnostmi (hliníkové odlitky) a při výrobě svarů s vysokou tuhostí.

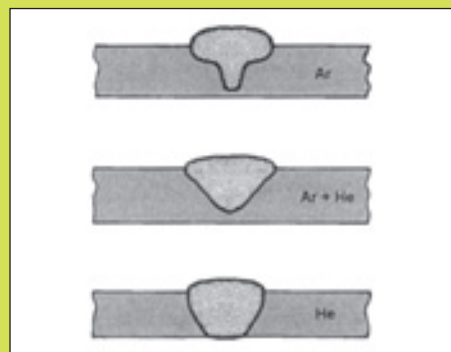
Při svařování hliníku můžeme použít zkratový, sprchový i pulzní režim. Někdy se s oblibou používá kombinovaný zkratový a sprchový přenos.

### 4 DEFEKTY SVAROVÝCH SPOJŮ

Jedním z ukazatelů svařitelnosti může být posouzení z hlediska výskytu možných defektů. Mezi nejčastější vady spojené se svařováním hliníku patří [1, 3]:

- pórovitost svarových spojů
- praskavost svarových spojů za tepla (horké trhliny)
- praskavost svarových spojů za studena

Hlavní příčinou **pórů** ve svarovém spoji je vodík, který má rozdílnou rozpustnost v hliníku v tekutém nebo tuhém stavu. Při svařování metodou MIG je pórovitost svarových spojů podstatně vyšší než při svařování metodou TIG. Pro zamezení pórovitosti svarových

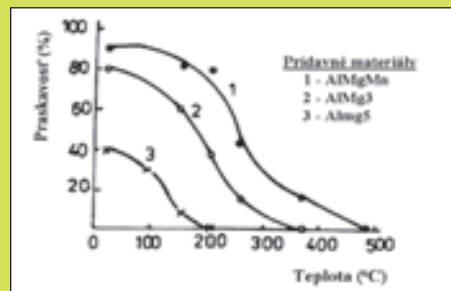


Obr. 2 – Vliv ochranného plynu na průřez svaru

spojů je třeba dodržovat následující zásady:

- vyločení všech zdrojů vodíku, uhlovodíku a vlhkosti – použití inertních plynů velké čistoty, správná manipulace s materiálem (čistota svarových ploch),
- použití přídavných materiálů s nízkým obsahem vodíku,
- zabezpečení stability svařovacího procesu – použití vhodných svařovacích zařízení (s podavačem na hliníkové přídavné materiály), vhodné svařovací parametry,
- zabezpečení optimálního přenosu kovu v oblouku.

Vznik horkých trhlin je významně ovlivňován použitou metodou svařování, tepelným režimem a postupem svařování. Z technologického hlediska se připisuje velký význam teplotě předehřevu svarovaných materiálů. S rostoucí teplotou předehřevu praskavost klesá, obrázek 3. Rozhodující význam z hlediska praskavosti má totiž stav napjatosti v oblasti svarového spoje.



Obr. 3 – Vliv teploty předehřevu na praskavost slitiny AlMg3

Opatření proti praskavosti svarových spojů za tepla:

- vhodná volba přídavných materiálů,
- snížení tepelného příkonu,
- použití předehřevu.

**Praskavost svarových spojů za studena** se u hliníkových materiálů vyskytuje jen zřídka. Studené trhliny vznikají v intervalu teplot 200 až 400 °C a mají interkristalický průběh (na rozdíl od horkých trhlin, které mají převážně mezikristalický průběh) [3].

### ZÁVĚR

Z uvedených metod svařování hliníku a jeho slitin je patrná odlišnost v rozsahu použití z hlediska tloušťky a produktivity svařování. Pro dosažení svarového spoje vyhovující kvality je důležité jak u metody TIG (WIG) nebo MIG, aby byl kladen důraz na výběr vhodného přídavného materiálu, na čistotu svarového materiálu (viz odstranění oxidické vrstvy) a v neposlední řadě na samotný průběh svařování.

### LITERATURA:

- Kolektiv autorů. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Zeross, 1999. 296s. ISBN 80-85771-63-2.
- ORSZÁGH P., ORSZÁGH V., *Zváření MIG/MAG ocelí a neželezných kovů*. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. 460s. ISBN 80-88780-36-5.
- ORSZÁGH P., ORSZÁGH V., *Zváření TIG ocelí a neželezných kovů*. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. 300s. ISBN 80-88780-21-7.
- Kolektiv autorů. *Technologie svařování a zařízení*. Ostrava: Zeross, 2001. 395s. ISBN 80-85771-81-0.