Praktické zkušenosti se svařováním hliníkových slitin

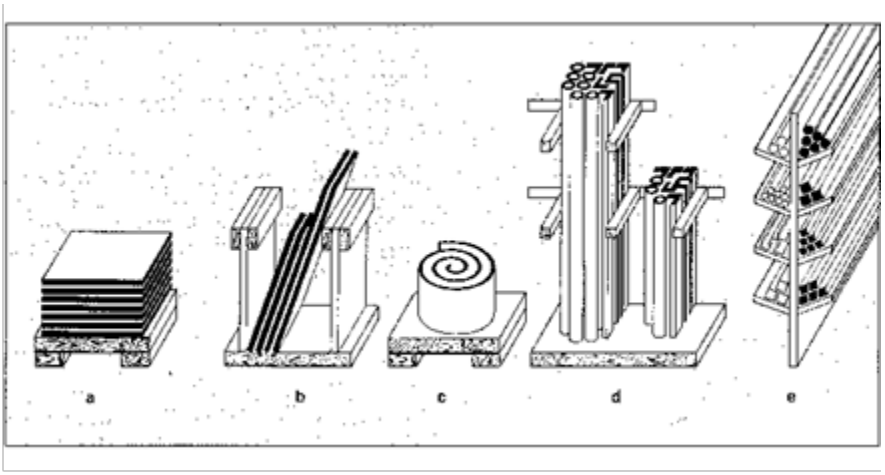
Dny svařovací techniky 2019

Ing. Vladislav Kolář

1. Skladování základních materiálů

Hliníkové polotovary by se neměly volně ukládat. Měly by být uloženy ve vytápěném nebo nevytápěném, především ale suchém prostranství. Vysoká vlhkost vzduchu, průvan a rychlé teplotní výkyvy materiálu škodí.

Naprosto suché polotovary mohou být také uloženy i v původním balení. Ukládat by se měly polotovary do výšky jen tak, aby nejspodnější polotovar nebyl váhou horních poškozen. Vybalené hliníkové polotovary nesmějí být v bezprostředním dotyku s jinými kovy, protože může dojít ke korozi. Regály mají být nehygroskopické a chemicky neutrální a mají být z materiálu, který vybalené polotovary nepoškrábe či jinak nepoškodí (dřevo, plast aj.). Při přemísťování a manipulaci s materiály je nutno dbát, aby na povrchu nevznikly rýhy, škrábance nebo deformace. Pro vnitropodnikovou dopravu je vhodné mezi díly pokládat ochranný materiál jako kartóny, dřevěné latě nebo vhodné plastové díly. Lidé, kteří s hliníkovými polotovary pracují, nosí stále čisté rukavice z měkkých textilií. Přes otisky prstů přenášený pot je médium, které povrchy kovů v krátkém čase napadne a mění jejich vzhled v důsledku chemické reakce. Pokud přesto ke kontaminaci potem dojde, je nutno kontaminovaná místa ihned s pomocí etanolu nebo metanolu odstranit. Později nepomůže žádný chemický prostředek. Škody se potom musí namáhavě broušením, mechanického ošetřování nebo kartáčováním odstranit.



Obr. 1 Možnosti skladování hliníkových polotovarů

a) ležaté uložení plechů a tabulí: Polotovary nesmějí být v kontaktu s betonovou podlahou a vyzdívkou.

b) uložení plechů na stojato: K tomu účelu se hodí podstavce ze dřeva nebo hliníku. U kovové kostry musí být styková plocha z měkkého materiálu, např. dřevo, plast, aby nedošlo k poškrábání povrchu polotovarů.

c) Správné uložení plechů v rolích.

d Stojaté uložení trubek, tyč a profilů s většími, odolnými průřezy (ne delší jak 2 m).

e ležaté uložení trubek, tyčí a profilů s menšími, citlivými průřezy.

2. Teploty ve svařovnách

Podmínky, při kterých se tvoří kondenzovaná voda na chladném povrchu kovů, pokud je přemísťujeme z jednoho prostředí do jiného, např. z venkovního skladu do svařovny.:

FR %	95	90	85	80	75	70	65	60
ΔT°C	1	2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-8	7-9
FR %	55	50	45	40	35	30	25	20
ΔT°C	9-12	10-13	12-14	13-17	16-19	18-21	21-23	24-27

Příklad: Kov, který byl uložen při venkovní teplotě od 5°C, přemístěn do prostoru s vnitřní teplotou 18°C a vlhkostí vzduchu 60%.

Podle tabulky: ΔT°C při 60% = 7-9 °C.

V příkladu: ΔT°C (18°C-5°C) = 13°C.

Účinky: Vlhký kov, protože přípustný teplotní rozdíl od 7-9 °C bude překročen.

Příklad ze svařovny:

O víkendu nevytápěná svařovna s Al díly měla teplotu v noci z neděle na pondělí 7 °C, v pondělí ráno se začalo vytápět na teplotu 15 °C, relativní vlhkost při tom byla 70 %.

Podle tabulky: ΔT°C při 70% = 5-6 °C.

V příkladu: ΔT°C (15°C-7°C) = 8 °C.

Účinky: Vlhký kov, protože přípustný teplotní rozdíl od 5-6 °C bude překročen.

Postup při určení min. teploty svařovny, která se musí udržovat i ve dnech pracovního volna:

1. Zjištění teploty ve svařovně, když se netopí.

2. Zjištění teploty a relativní vlhkosti ve svařovně při normálních výrobních podmínkách.

3. Podle uvedených příkladů a použití výše uvedené tabulky stanovit optimální podmínky pro udržování teploty ve svařovně ve dnech pracovního klidu (mezi směnami, o víkendech a svátcích).

Při nedodržení těchto podmínek přichází z různých zdrojů myšlenky, že se vlhkost z materiálů bude vysoušet plamenem nebo jiným zdrojem tepla (horkým vzduchem). Toto není přípustné, protože na takto vysoušeném povrchu vznikne rychle silná vrstva oxidu hlinitého, který znemožní provedení svaru alespoň běžné kvality. Nastehované díly by se musely rozebrat a odstranit oxidy i z okolí budoucích svarů (i ze strany kořene), protože i oxid v okolí svarových ploch je zdrojem vody do svarového spoje. Vlhkost z oxidu nelze odstranit, protože je silně hygroskopický (pojímá vlhkost z okolí a drží si ji). Po případném vysušení zvlhne znovu.

Proč je nejlépe stanovit teplotu i během pracovního klidu 15 °C?

Protože existují pravidla na uskladnění přídavných materiálů (nejen hliníkových, ale i ocelových). Podniky, které mají certifikát dle EN ISO 3834-2 dokladují při auditech v naprosté většině o skladování a manipulaci s přídavnými materiály ve svých směrnicích pro speciální výrobní procesy následující:

Přídavné materiály se skladují v původním neporušeném obalu v suchých skladech v místnostech s teplotou nejméně +15 ºC a s relativní vlhkostí vzduchu nejvíce 60 %, s vyloučením jakéhokoliv vlivu případného agresivního prostředí a jeho kontaktu s přídavným materiálem.

Svařovací dráty a plněné elektrody vinuté na cívkách se v závislosti na typu cívek a jejich balení ukládají dle doporučení výrobce.

Výkyvy teplot trpí nejen základní materiály, ale i přídavné dráty, které jsou přes noc i víkend většinou v podavačích svářeček, automatů i robotů.

Z vnitřních prostor profilů asi bude těžko někdo ostraňovat oxidy a vlhkost.

3. Příprava svarových ploch

Příprava svarových ploch je pro svařování Al slitin nesmírně důležitá a oproti přípravě svarů na ocelových materiálech se v některých detailech liší.

a) U koutových svarů je odlišnost v přípravě snad jen v nutnosti okartáčování svarových ploch a jejich okolí od oxidu hlinitého a důkladné odmaštění. Toto se provádí zásadně před sestavováním a stehováním dílů.

b) U tupých svarů je odlišností v přípravě o něco více.

- Kartáčování a odmaštění svarových ploch před jejich sestavením a stehováním.
- Úhly rozevření úkosů jsou větší než u oceli. Úhel rozevření je zde většinou 60 – 70°, u nesymetrických svarů (1/2V, 1/2Y) min. 50 - 60°.

- Kořenové mezery pokud svařujeme bez podložky jsou nulové. Pokud svařujeme s podložkou, mění se kořenová mezera podle tloušťky svařovaných dílů.

Tloušťka sv. materiálu	Kořenová mezera
2 – 5 mm	0 - 1 mm
6 – 12 mm	min. 2 mm
12 – x mm	min. 3 mm

Maximální velikost kořenové mezery nesmí překročit 4 mm.

Ostré hrany v kořeni musí být sraženy cca 1x45^{o}

Další odlišností přípravy svarových ploch je, že u hliníkových slitin se nemají provádět broušením, ale raději třískovým obráběním.

Důvodů je několik:

- Místní přehřátí od broušení
- Částice brusiva (korund) mohou ulpět ve svarových plochách
- Drsnější povrch není pro obloukové svařování vhodný.

Rovněž úpravy povrchů svarových ploch smirkovým plátnem nejsou vhodné.

4. Kartáčování a odmaštění

Kartáčování provádíme za účelem narušení celistvosti oxidové vrstvy. Kartáčovat bychom měli nemastné povrchy. Používat kartáče s nerezovými drátky co nejmenšího průměru (max. 0,3 mm), jinak budou na povrchu rýhy. Na kartáče netlačit, stačí tíha ruky nebo ručního strojku.

Neodmašťovat benzínem, petrolejem, ekologickými prostředky na bázi vody ani přípravky obsahující halové prvky (trichloretylen, tetrachloretylen apod.) Nejlepší je aceton, syntetický líh nebo čistič pro PT zkoušky.

Svařovat se musí hned po kartáčování a odmaštění, ale dodržíme-li teplotu a vlhkost ve svařovně podle výše uvedeného, není problém začít svařovat až po dvaceti hodinách. Potom stačí před svařováním přetřít povrch čistým hadrem navlhčeným v lihu proti usazenému prachu na svarových plochách.

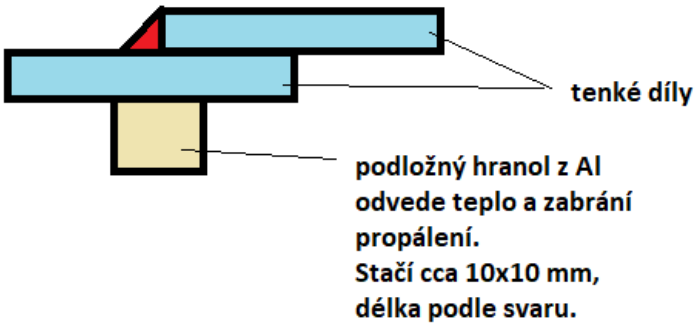
5. Zakládání a stehování dílů

Pokud jsou svarové plochy připraveny se správnou geometrií, okartáčovány a odmaštěny, můžeme zakládat a stehovat. Svařování bez použití přípravků nese velké riziko deformací, které potom musíme s často velmi malým úspěchem vyrovnat.

Použití přípravků se vyplatí zejména:

- Pro potlačení deformací při svařování i chladnutí a zajištění potřebné předdeformace.
- Proti přesazování a pohybu dílů během svařování.

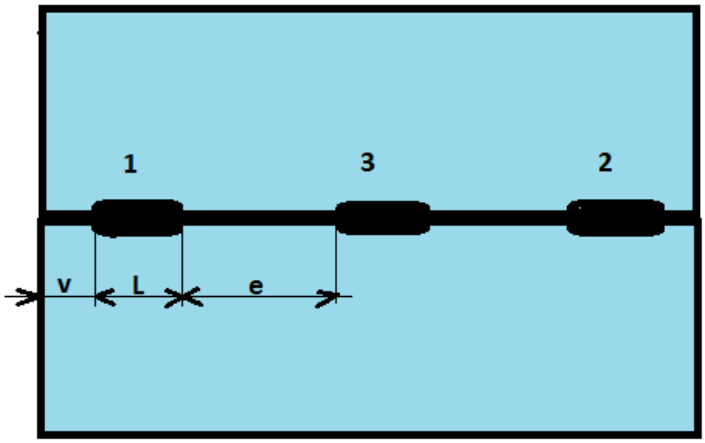
- Pro použití chladících těles, která zajistí rychlý odvod tepla z TOO a v případě svarů na tenkých materiálech zabrání propálení.



Obr. 2 Příklad použití podložného hranolu

Stehování bychom se měli pokud je to možné vyhnout, často je to však nemožné. Délky stehů nesmíme podcenit, jinak budou během svařování praskat. Pokud prasknou, musíme je zcela odstranit a nahradit v jiném místě novými se správnou délkou. Při stehování metodou MIG musí být začátky a konce stehů opracovány. Na začátku stehu je studený spoj, který je ve všech stupních kvality vždy nepřípustnou vadou svaru. Na konci je vždy koncový kráter, který snižuje nosný průřez stehu a velmi často zde vznikají kráterové trhliny, opět vždy nepřípustná vada.

Stehové svary nikdy nezačínáme svařovat na koncích dílů, ale vždy ve vzdálenosti min. poloviny délky stehu.



$$e \leq 3 \times L$$

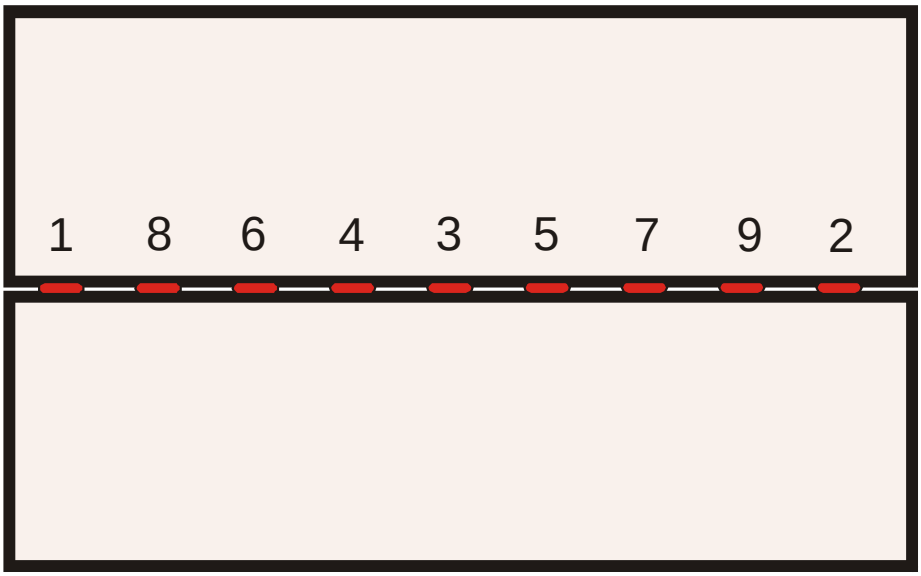
$$v \leq 0{,}5 \times L$$

Obr. 3 Zásady pro stehování a svařováná krátkých svarů

pro t < 10 mm : L > 5 × t , ale nejméně 30 mm,

pro t > 10 mm: L > 3 × t , ale nejméně 50 mm.

Stehovat se musí provádět postupem, který zajistí minimální přesazení dílů, např. takto:



Obr. 4 Postup stehování k zamezení přesazení dílů

Veškeré zásady pro stehování platí stejně jak pro volné svařování, tak pro svařování v přípravcích.

6. Zásady pro přípravky

V přípravcích můžeme často svařovat i bez stehování, záleží na konkrétní situaci, např. pokud svařujeme bez kořenové mezery. Přípravky musí mít dostatečnou tuhost, protože pnutí při chladnutí hliníkových svařenců jsou obrovská. Z praxe musí mít tuhost dvoj až trojnásobně vyšší než pro obdobné ocelové svařence, v opačném případě hrozí zničení přípravku během chladnutí prvního kusu.

Kromě tuhosti přípravku je nutno věnovat pozornost upínkám – jejich:

- velikosti,
- materiálu,
- četnosti,
- polohy.

Počet upínek musí být dostatečný, aby se mezi nimi netvořily vlny

Obr. 5 Příklad hostečného množstvá upínek k zamezení zvlnění svařence

Dosedací plochy upínek musí být z kompaktibilního materiálu (Al, CrNi, plast, dřevo), musí mít dostatečně velkou plochu (aby se neprolisovaly do svařence a dobře odváděly teplo) a musí kopírovat tvar svařence.

Obr. 6 Příklad řešení dosedací plochy upínky

7. Předehřev a interpass

Předehřev se používá z následujících důvodů:

- pro potlačení vzniku vad souvisících se studenými starty;
- pro dosažení tepelné rovnováhy při svařování dílů značně odlišných tlouštěk;
- pro zmenšení vlivu nadměrného ochlazování při svařování dílů velké tloušťky, které rychle odvádí teplo potřebné k roztavení svarových ploch.

Tloušťky menší než 8 mm nemusíme předehřívat. Od 8 mm je předehřev nezbytný. To platí i pro stehování.

Teplota interpass se kontroluje z následujících důvodů:

- pro zabránění snížení mechanických vlastností přehřátím;
- pro zmenšení šířky změkčené oblasti TOO;
- snížení míry segregace v TOO, např. nadměrným stárnutím.

Doporučené teploty předehřevu a interpass podle EN 1011-4. V praxi se velmi osvědčilo tyto hodnoty dodržovat. Naopak se neosvědčilo jejich překročení.

Základní materiál	Teplota předehřevu max. °C	Teplota interpass max. °C
Tepelně nezpracovatelné slitiny 1xxx 3xxx 5xxx lité AlSi lité AlMg	120[a]	120[a]
Tepelně zpracované slitiny 6xxx lité AlSiMg lité AlSiCu	120[a]	100
7xxx	100[a]	80

[a] Prodloužený ohřev může způsobit částečné žíhání mechanicky zpevněných slitin a přestárnutí plně tepelně zpracovaných slitin.

POZNÁMKA 1 Teploty v této tabulce je nutno brát jako návod. Tyto hodnoty mohou být změněny na základě smlouvy a mají být uvedeny ve WPS.

POZNÁMKA 2 U skupiny slitin 22.4 (5XXX) obsahující > 3,5% Mg a u skupiny slitin 23.2 (7XXX) může precipitace takových fází způsobit v určitých pracovních prostředích citlivost na korozi po vrstvách (odlupování) a korozní praskání.

Obr. 7 Doporučené teploty předehřevů a interes pro různé typy Al slitin podle EN 1011-4

8. Plyny pro předehřev

Pro předehřev Al slitin lze použít následující plyny:

- Zemní plyn – obsahuje až 40% vlhkosti, ale póry netvoří a nehrozí špatné nastavení směsi.

- Propan-butanový plamen obsahuje cca 30% vlhkosti, netvoří póry a je nejvhodnější z důvodu rovnoměrnosti ohřevu a nehrozí špatné nastavení směsi.
- Kyslíko-acetylénový plamen obsahuje pouze cca 4% vlhkosti. Je zde velké riziko špatného nastavení směsi kyslíku a acetylénu. Musí být použit zásadně mírně karburační plamen. Je zde i riziko nerovnoměrného ohřevu.

9. Svařování

Použitelné jsou v praxi nejčastěji metody

- MIG
- TIG.

Za určitých podmínek můžeme Al slitiny svařovat také:

- plamenem (nutnost použití tavidla a některé výrobkové normy tuto metodu nepovolují),
- laserem,
- laser hybridem,
- svazkem elektronů,
- friction stier
- Elektrickým odporem

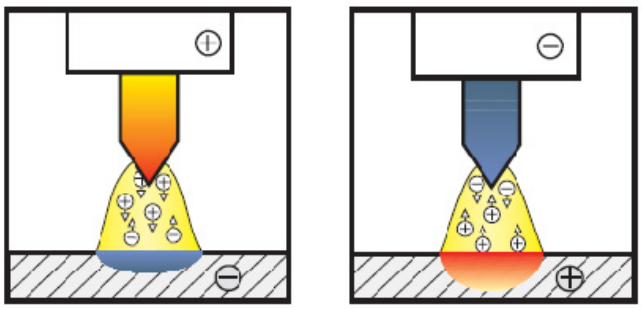
10. Několik zásad pro metodu MIG

Druhy přenosu svarového kovu a možnosti jejich využití:

- Zkratový přenos jen výjimečně v nouzi u tenkých materiálů.
- Sprchový přenos od tl. 6 mm, ale pozor na přehřátí svarového kovu
- Kapkový přenos je pro Al slitiny nepoužitelný.
- Pulsní přenos je nejlepším způsobem použitelným pro všechny tloušťky

Polarita

Elektroda musí být zásadně na + pólu, v opačném případě by nevznikl čistící efekt oblouku a přídavný materiál by se nespojil se základním.

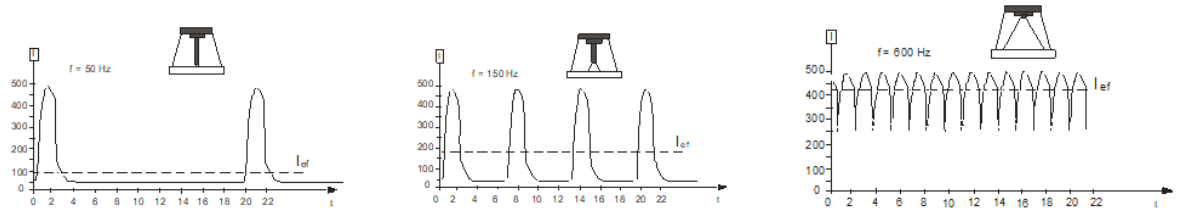


Obr. 8 Polarita a tepelné účinky na hořák a základní materiál

Hořák je více tepelně namáhán, proto musí být používány vodou chlazené hořáky.

Svařovací proud

Optimální volbou pro první nastavení proudu je 40 násobek tloušťky svařované stěny, potom stačí podle potřeby proud mírně snížit nebo zvýšit. Délku oblouku lze doregulovat změnou napětí a frekvence pulsu na délku 3 – 5 mm. Delší oblouk je široký a měkký, ohřívá širší okolí a nemá správnou energii pro dosažení optimálního průvaru, navíc tepelně namáhá hořák a hrozí utavení napájecího průvlaku.

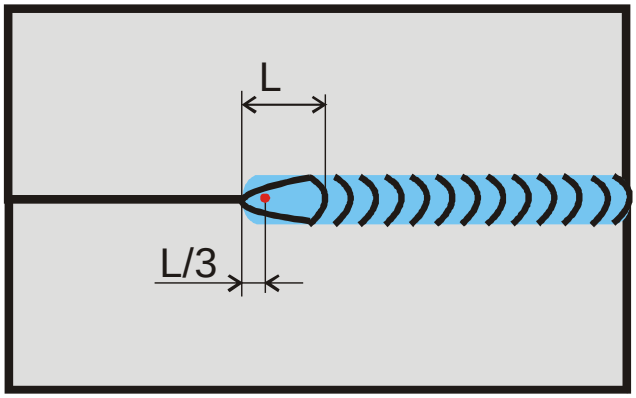


Obr. 9 Vliv frekvence pulsu na délku a šířku oblouku

Příliš nízká frekvence pulsu způsobí velmi krátký a úzký oblouk, který výkonově nestačí k natavení svarových ploch. V prostřední části obrázku je nastavena optimální frekvence pulsu, kdy oblouk má optimální délku 3-5 mm, je koncentrovaný a nepříliš široký s dobrým výkonem k natavení svarových ploch. Na obrázku vpravo je nastavená frekvence pulsu příliš velká, oblouk je dlouhý a široký, ohřívá se poměrně velký objem materiálu tam, kde to není žádoucí a pro natavení svarových ploch je takový oblouk měkký, navíc při této délce je velké riziko odtavení napájecího průvlaku v hořáku.

Rychlost svařování

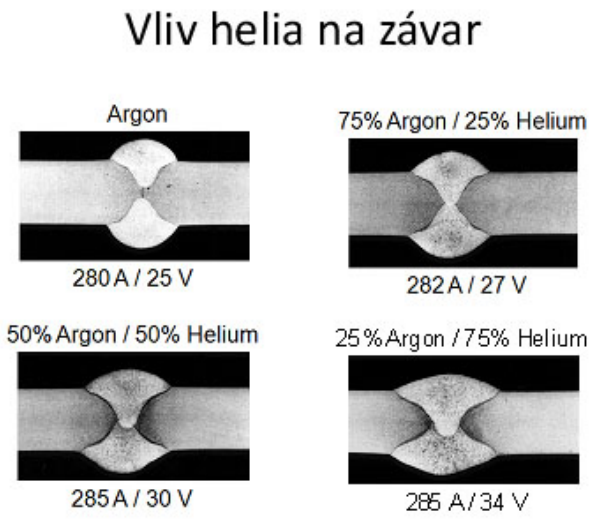
Je velmi důležitou proměnnou. Příliš rychlé svařování může být zdrojem studených spojů a trhané housenky. Příliš pomalé svařování způsobí předběhnutí svarové lázně před oblouk, která se ihned ochladí o nenatavené svarové plochy a svar je pouze přilepen. Oblouk nemá šanci přes předběhnutou lázeň natavit svarové plochy. Správná rychlost je taková, když oblouk míří do první třetiny roztavené lázně.



Obr. 10 Oblouk míří při správné rychlosti svařování stále do první třetiny roztavené lázně. Pokud trochu zpomalíme, předběhne lázeň. Pokud trochu zrychlíme, propálíme díru.

Ochranné plyny

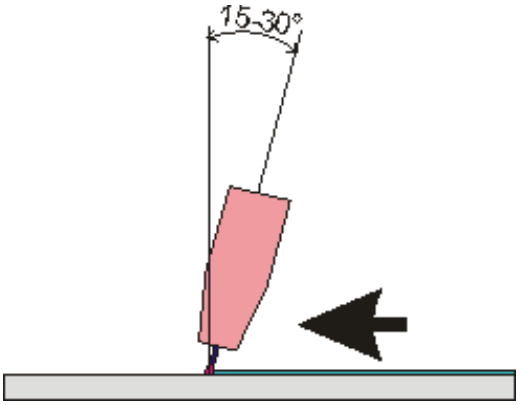
Je možné použít pouze inertní plyny jako argon, helium nebo jejich směs. Při použití směsi Ar + He je nutno zvýšit průtočné množství plynu, protože je He lehčí než vzduch a je také citelně dražší.



Obr. 11 Vliv různého množství helia v argonu

Sklon hořáku

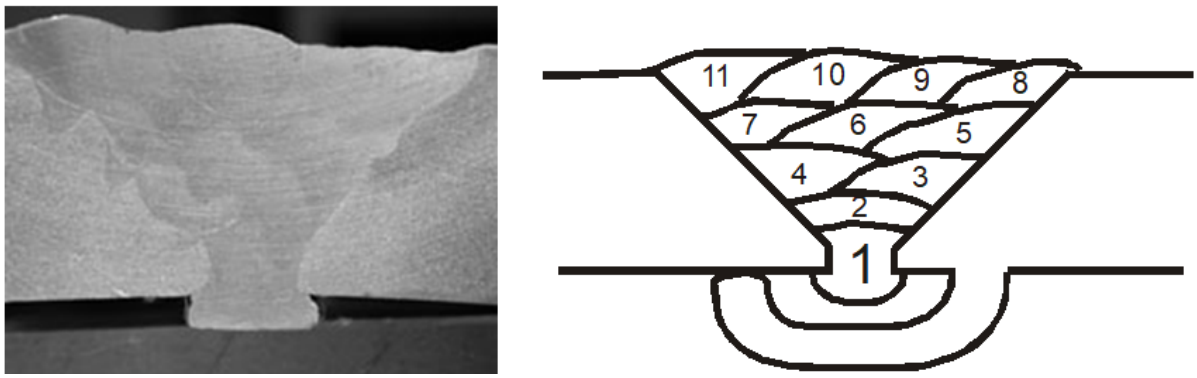
Hořák je nutno držet s velmi mírným sklonem (15, max. 30o) ve směru svařování. Dodržení sklonu činí potíže zejména při změně směru svařování např. v rozích konstrukce. Pokud je sklon kolmý, povrch svaru je zčernalý s velmi nepravidelnou kresbou. Při velkém sklonu je velmi pórovitý.



Obr. 12 Správný sklon hořáku a směr svařování

Způsob svařování

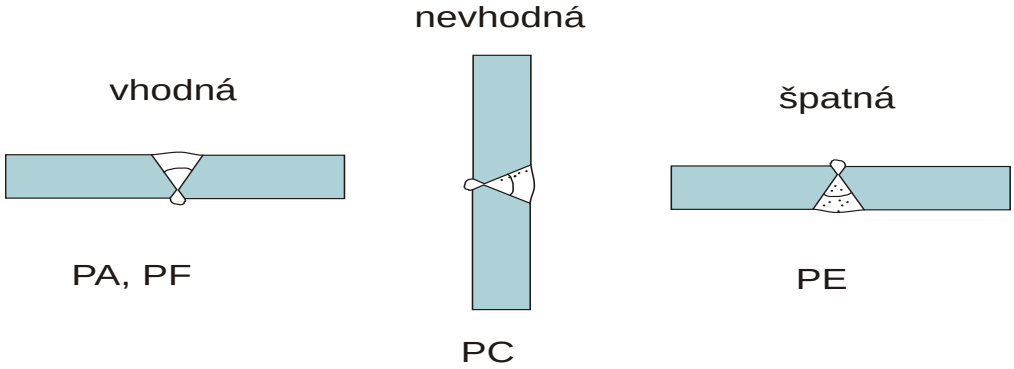
Je nutné se vyhýbat se tvorbě housenek s větším objemem svarového kovu, jinak vzniká riziko tvorby solidifikačních trhlin. Je vhodnější svařovat štíhlejší housenky větší rychlostí svařování, aby pokles mechanických vlastností v TOO byl co nejmenší a aby nevznikaly solidifikační trhliny.



Obr. 13 Příklad vícevrstvého svaru provedeného větším počtem housenek svařených vyšší rychlostí s cílem dobrého provaření bez studených spojů a bez rizika vzniku solidifikačních trhlin

Polohy svařování

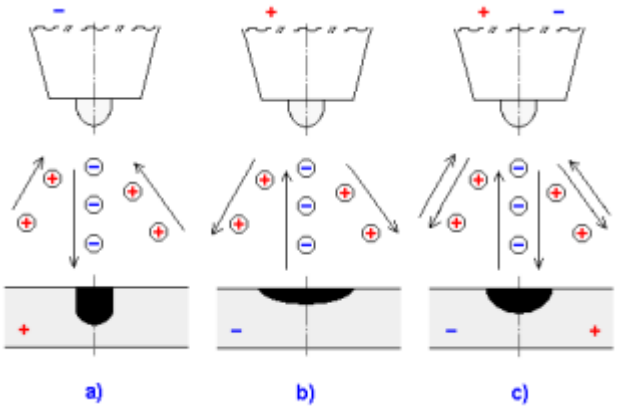
Al slitiny lze svařovat ve všech polohách, pouze poloha PG se nedoporučuje, ve výrobkových normách se dokonce zakazuje. Doporučuje se volit vhodné polohy svařování, jinak se těžko vyhneme tvorby vnitřních pórů. Vhodnou polohu svařování docílíme použitím polohovadel.



Obr. 14 Vliv polohy svařování na rozložení pórů

11. Několik zásad pro metodu TIG

V podstatě platí všechny zásady výše uvedené pro MIG s následujícími odlišnostmi: Metoda TIG je oblíbená pro pohlednou kresbu povrchu svaru. Metoda TIG je vhodná do tl. 4 mm, při větších tloušťkách trvá tavení déle s rizikem většího poklesu mechanických vlastností v TOO. Platí, jaká tloušťka svařovaného materiálu, takový průměr elektrody i drátu. Oblíbené jsou keramické hubice malých průměrů, ale nezajišťují dokonalou plynovou ochranu svaru, který je potom porézní. Hroty wolframových elektrod se nebrousí, konec se vytvaruje sám podle proudového zatížení. Svařujeme zásadně střídavým proudem, který zajistí jak průvar, tak i čistící efekt oblouku. Stejnosměrným proudem při kladném pólu na elektrodě tepelně přetěžujeme hořák a průvar je velmi malý. Při záporné polaritě na elektrodě chybí čistící efekt a přídavný materiál se vůbec nespojí se základním.



Obr. 15 a) záporná polarita – nelze použít pro absenci čistícího efektu oblouku, b) kladná polarita – Al nesvaříme, protože chybí průvar, c) střídavý proud – vhodný pro svařování Al slitin (má čistící efekt i průvar

12. Přídavné materiály

Volba správného přídavného materiálu je velmi důležitá z hlediska °prevence vzniku trhlin, korozní odolnosti a mechanických vlastností. Pro volbu správného typu PM je vhodné použít doporučení v EN 1011-4. Rovněž doporučení výrobců PM je dobrou volbou. Hliníkové PM neskladovat příliš dlouho, raději nakupovat zásoby na cca 6 měsíců. Dodržovat skladovací podmínky podle výrobců PM (většinou min. 15° C a vlhkost max. 60%). Je velmi nepravděpodobné, aby měl svarový kov stejné mechanické vlastnosti jako základní materiál. To je dáno rozdílnými vlastnostmi hliníkových slitin v tvářeném a litém stavu. Slitiny typu AlMg, AlMgSi svařované s odlitky ze siluminu svařovat zásadně PM typu AlSi (např. AlSi5) a nikoliv typem PM pro tyto slitiny, jinak se budou tvořit trhliny.

13. Rovnání

Tepelné rovnání bez mechanické podpory nemá žádný efekt, musí se tepelný účinek podpořit mechanickým působením. Pokud použijeme kyslíkoacetylénový plamen, musí být mírně karburační. Rovnací teplota nesmí překročit 200° C. Deformacím je lepší předcházet předdeformací v přípravcích, kde svařence uvolníme až po vychladnutí

Závěr

V tomto příspěvku jsou pouze hlavní informace na základě praktické činnost při svařování hliníkových slitin. K úspěšnému zvládnutí problematiky hliníkových svarových spojů je nutno také velmi dobře znát vlastnosti jednotlivých slitin a umět je využívat nebo lépe řečeno respektovat je v praxi