

Svařování hliníkových slitin v praxi

Ke zdárnému svařování hliníku a jeho slitin je nutné znát stěžejní vlastnosti hliníku. I když samotný proces svařování vypadá velmi podobně jako u obvyklých ocelí, bez těchto znalostí se po svaření můžeme dočkat velmi nepříjemných překvapení ohledně kvality svarového spoje. Mohou nastat potíže i během vlastního svařování, např. svarový kov se nechce spojit se základním materiálem dokonce ani po přehřevu a velmi vysokém svařovacím proudu. K vyhnutí se takovému problému přitom stačilo znát základní vlastnosti hliníku.

Vlastnosti		Hliník	Nízko-uhlíková ocel	Měď
Měrná hmotnost při 20 °C	[g.cm ⁻³]	2,7	7,85	8,89
Měrná hmotnost Al ₂ O ₃	[g.cm ⁻³]	3,96		
Teplota tavení	[°C]	660	1500	1080
Teplota varu	[°C]	2270	3200 (Fe)	2600
Teplota tavení oxidů	[°C]	2046	1550	1232
Tepelná vodivost	[W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	223	52	388
Pevnost	[MPa]	70 - 100	300 - 400	200 - 240
Tažnost	[%]	30 - 40	30 - 35	40 - 50
Modul pružnosti	[MPa]	72 000	210 000	120 000
Lineární tepelná roztažnost	[m.K ⁻¹ .10 ⁻⁶]	23,8	12,6	17,0

Z tabulky vlastností hliníku je zřejmé, že většina z nich je odlišná od vlastností ocelí.

Měrná hmotnost hliníku

Naproti oceli je hliník přibližně 3x lehčí, což velmi láká k návrhu kovových konstrukcí z hliníku a jeho slitin. Tuto vlastnost však nemůžeme odtrhnout od ostatních, protože cenou za nízkou měrnou hmotnost jsou další vlastnosti, které již tak příznivé nejsou.

Měrná hmotnost Al₂O₃

Měrná hmotnost oxidu hliníku je vyšší než měrná hmotnost samotného hliníku. To znamená, že při svařování tento oxid nemůže vyplavat na povrch svarové lázně a zůstával by ve svaru. Oxidické vměstky na rozdíl od bublin a pórů mají ostře ohraničený objem a mohou být iniciací tvorby trhlin.

Teplota tavení

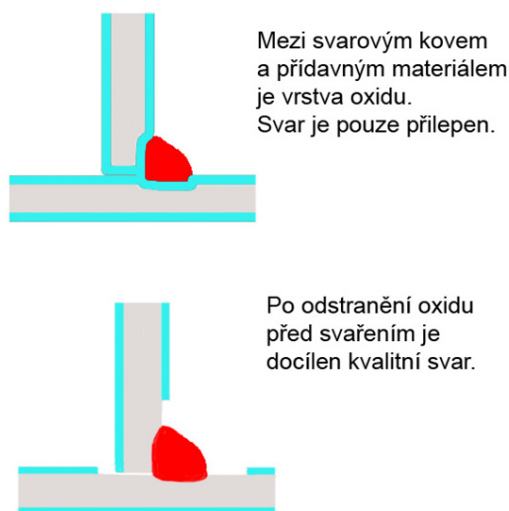
Nízká teplota tavení může svádět k myšlence, že budou stačit pro svařování slabší zdroje. Opak je však pravdou. Vzhledem k vysoké teplotní vodivosti hliníku jsou potřebné naopak výkonné svařovací zdroje, protože teplo oblouku potřebné k natavení svarových ploch je velmi rychle odváděno do okolního základního materiálu a při nižších svařovacích proudech by k natavení vůbec nedošlo. Svarový kov by bohatě zalil svarové plochy ovšem bez natavení základního materiálu.

Teplota varu

Teplota varu není z hlediska svařování a dalšího dílenského zpracování konstrukcí důležitá.

Teplota tavení oxidů

Toto je velmi důležitá vlastnost, protože přítomná oxidická vrstva na povrchu svarových ploch zcela znemožní spojení přídatného materiálu se základním materiálem. Teplota tavení oxidu je mnohem vyšší než teplota tavení kovu a oxidová vrstva je proto v procesu svařování netavitelná. To je jeden z důvodů, proč je nutno před svařováním oxid z povrchu svarových ploch a jejich okolí nutno odstraňovat.



Jsou celkem čtyři důvody, proč je nutné oxidovou vrstvu z povrchu svarových ploch a jejich okolí odstraňovat.

1. **vyšoká teplota tavení**
2. **elektricky nevodivý**
3. **těžší než hliník**
4. **silně hygroskopický**

Vysoká teplota tavení a hmotnost oxidu již byla zmíněna. Díky elektrické nevodivosti by se těžko nastavovaly parametry svařování. S trochou nadsázky je to jako bychom při svařování položili přes svarové plochy tenký papír. Rovněž při upevňování svorky zemního kabelu bychom v místě styku měli oxid okartáčovat, aby nevznikal velký přechodový odpor a kabel se nezahříval.

Oxid hliníkový je také silně hygroskopický, tzn., že pohlcuje vlhkost z okolního prostředí a drží si ji. Oxidová vrstva neodstraněná z okolí svarových ploch cca 10 mm je potom zdrojem vodních par ve svarovém kovu a tím jednou z příčin pórů ve svaru.

Tepelná vodivost a lineární tepelná roztažnost

Tepelná vodivost je u hliníku cca 4x vyšší než u ocelí. Kromě rychlého odvodu tepla potřebného k natavení svarových ploch tato vlastnost rovněž způsobuje ohřev poměrně velkého objemu hmoty svařence, což může být problematické z hlediska pnutí a deformací při svařování dílů tuze upnutých, neboť lineární tepelná roztažnost je cca 2x vyšší než u oceli. Kombinaci těchto vlastností je nutno respektovat při návrhu svařovacích přípravků jak bude dále zmíněno.

Pevnost

Pevnost čistého hliníku je velmi nízká. Proto jsou v praxi pro hliníkové konstrukce využívány především slitiny hliníku, jejichž mechanické vlastnosti jsou mnohem příznivější.

Tažnost

Tažnost je u čistého hliníku velmi dobrá, bohužel u teplem vytvrditelných slitin s rostoucí pevností klesá. U některých slitin nabývá hodnot pouze 4 – 7 %.

Modul pružnosti v tahu

Modul pružnosti je u hliníku i jeho slitin cca 3x nižší než u běžných ocelí, proto často je použito pro konstrukce profilů místo plechů a pásů.

Systém značení tvářených slitin

Značení hliníkových slitin je mnohem jednodušší než systémy značení ocelí. Číselné značení slitin je uvedeno v normě EN 573-1 a značení podle chemického složení je uvedeno v normě EN 573-2. Stavby hliníkových slitin jsou uvedeny v normě EN 515.

Hlavní legující prvek	Označení série	Slitina	Stav
Hliník čistoty minimálně 99.00 %	1000	Al	Nevytvrditelný
Měď	2000	AlCuMg	Vytvrditelný
Mangan	3000	AlMn	Nevytvrditelný
Křemík	4000	AlSi	Nevytvrditelný
Hořčík	5000	AlMg	Nevytvrditelný
Hořčík a křemík	6000	AlMgSi	Vytvrditelný
Zinek	7000	AlZnMg	Vytvrditelný
Jiné prvky	8000	Al + různé prvky	Vytvrditelný i nevytvrditelný
Nepoužitá skupina	9000		

Všimněme si, že vytvrditelné slitiny vždy obsahují hořčík. Ten ale sám o sobě k tomu, aby slitina byla vytvrditelná nestačí.

Aby slitina byla teplem vytvrditelná, musí být k hořčíku přítomen křemík nebo zinek nebo měď.

Systém značení tvářených slitin podle EN 573-1 (číselné značení) a EN 573-2 (značení podle chemického složení).

EN AW-5456A				EN AW- ⁽⁶⁾ Al ⁽⁶⁾ Mg ⁽⁵⁾ 5Mn ⁽⁷⁾ 1(A) ⁽⁴⁾						
(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(5)	(7)	(4)		

- (1) Označení normy
- (2) Základní kov a polotovar
A = Aluminium
W = tvářený polotovar
- (3) 1. číslice – ozn. Série
2.-4. číslice – modifikace slitiny
- (4) Stav slitiny dle EN 515
- (5) Hlavní legující prvek
- (6) Množství leg. Prvku v %
- (7) Další legující prvky

Příprava svarových ploch

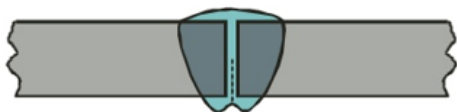
Svarové plochy mohou být vyrobeny třískovým obráběním. Broušení je nevhodné a použití smirkových plátén nepřipustné z důvodu korundových brusných zrníček, která mohou ulpět v povrchu hliníku.

U profilů jsou svarové plochy včetně podložek protlačeny přímo s profilem a stačí je jen okartáčovat a odmastit.



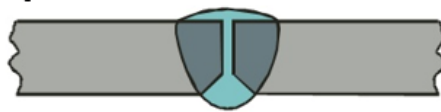
Pro všechny tupé svary platí, že spodní hrany úkosů musí být sraženy cca $1 \times 45^\circ$ nebo $r1$.

Špatně: bez sražení



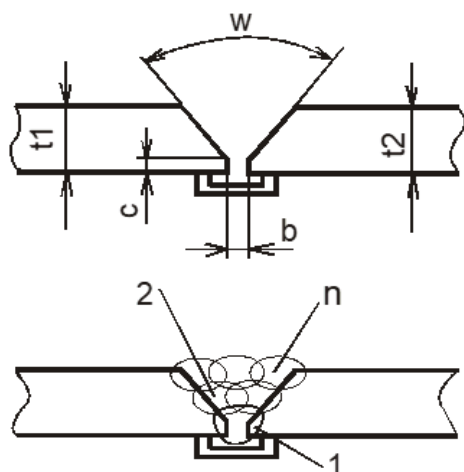
- Vady v kořeni
- Oxidové vměstky
- Nebezpečí trhlin v oblasti kořene způsobených oxidy

Správně: se sražením



- čistý kořen
- žádné vměstky oxidů
- žádné nebezpečí oxidů

U koutových svarů hrany nesrážet, aby v kořeni nevznikal plynový kanál.



Do tl. $t \leq 5$ je vhodné svařovat bez mezery.
Od tl. 6 je nutná mezera min. 2 mm

Úhel rozevření úkosu volit aspoň 70° , u menšího úhlu hrozí předběhnutí svarové lázně před oblouk s následkem vzniku studeného spoje, protože svarová lázeň se při MIG svařování tvoří velmi rychle a snadno předběhne. Podložky musí mít žlábek pro formování kořene svaru. Pokud není podložka svařujeme vždy bez mezery v kořeni. Mezeru si můžeme dovolit jen s podložkou.

Pokud je podložka trvalá, musí být z materiálu kompatibilního se základním materiálem. Dočasné mohou být keramické nebo z austenitické CrNi oceli, ale s zrcadlově hladkým povrchem drážky.

Čištění svarových ploch

Účelem je odstranění oxidu hlinitého a odmaštění svařovaného povrchu.

Oxid lze odstranit mechanicky nebo chemicky mořením. Chemické moření je pro svařovny prakticky nemožné. Zbývá velmi dobře použitelné kartáčování.

Pro kartáče platí, že průměr drátků musí být max. 0,3 mm. Pokud by jejich průměr byl větší, vytvářeli bychom na hliníkovém povrchu rýhy. Okartáčovaný povrch musí zůstat hladký, aby stabilita hoření oblouku byla co nejlepší.

Není účelem vybělit hliníkový povrch do běla, stačí oxidickou vrstvu narušit. Na kartáč by se nemělo tlačit, jinak se drátky ohýbají a hrany čelních plošek se ztupí. Výsledkem by bylo spíše zatlačování

nešistot do materiálu namísto odstraňování oxidu. Jako bonus za netlačení bude navíc fakt, že kartáče budou i po dlouhém používání jako nové.



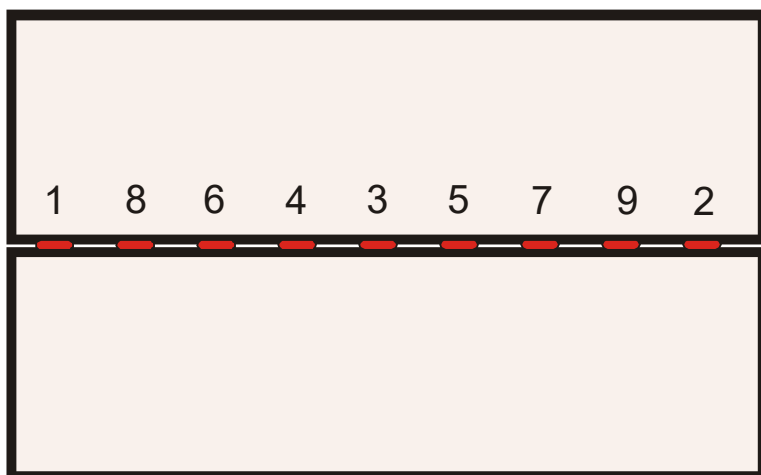
Kromě kartáčování je nutné také odmaštění svarových ploch a jejich okolí. Nevhodná jsou odmašťovadla jako benzín nebo petrolej, protože jsou sama o sobě mastná. Také ekologické přípravky na bázi vody jsou nevhodné kvůli obsahu vody. Dále nejsou přípustná odmašťovadla s obsahem halových prvků, jako je tetrachlóretylén či trichlóretylén apod., protože působením UV světla z oblouku dochází k tvorbě velmi nebezpečného plynu fosgen.

Velmi vhodným odmašťovadlem je syntetický líh, ovšem nikoliv denaturovaný, protože zanechává na povrchu hliníku světlé mapy. Vhodný je syntetický líh k pálení. Dobře poslouží i odmašťovadla používaná u kapilárních zkoušek. Odmaštěný povrch musí být následně vytřen suchou čistou látkou. Potom jsou díly připraveny k stehování či založení do přípravku.

Stehování

Bezvadné svaření je u jednotlivých kusů zhotovené bez upínacích přípravků proveditelné jen po stehování dílů.

Protože v mezerách může být různé tepelné roztažení, doporučuje se dodržovat jistý sled stehových svarů. Je-li stehováno pouze postupně v jednom směru, dochází ke stažení dílců, které se následujícím vyrovnáním sotva odstraní.



V důsledku rychlého ohřátí a opět tak rychlého ochlazení mají stehy sklon k praskání.

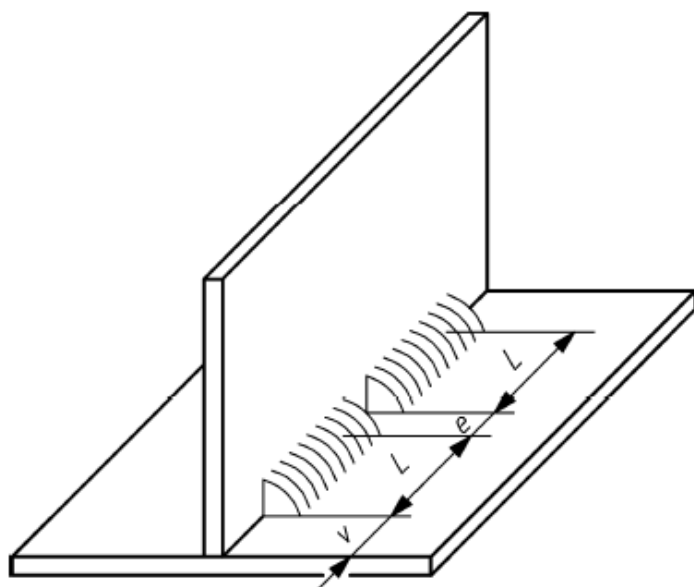
Kvůli citlivosti svařovaného materiálu na trhliny za tepla je nutné vyplnit koncové krátery.

Pro následné převaření musí být stehy opracovány a očištěny. To platí bez výjimky pro stehy provedené metodou MIG. Začátek svaru při svařování MIG bývá studený. Na konci svaru bývá koncový kráter. Proto je nutno vždy stehy pneumatickým ručním strojkem frézou opracovat, tj. odstranit studený začátek a kráterovou staženinu. Pokud je kráter vyplněn, je nutno frézou opracovat plynulý náběh pro svařování.

Stehy musí mít dostatečnou délku, jinak by během svařování praskaly.

pro $t_{max} < 10 \text{ mm}$: $l_{min} > 5 \times t_{max}$, ale min. 30 mm

pro $t_{max} > 10 \text{ mm}$: $l_{min} > 3 \times t_{max}$, ale min. 50 mm



$$e \leq 3 \times L$$

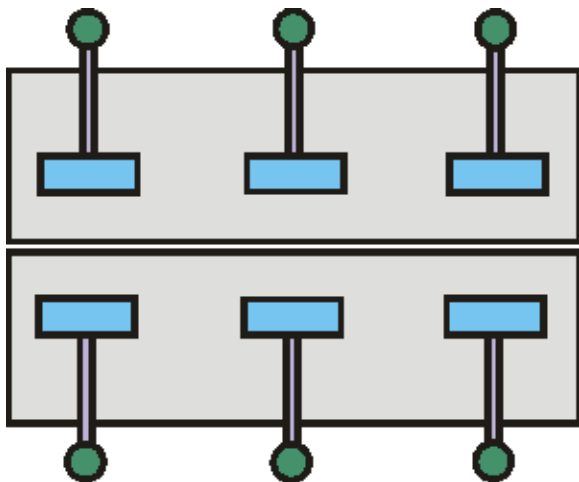
$$v \leq 0,5 \times L$$

Sestavení svařovaných dílů a přípravky

Při jednostranném svařování je nutné, aby svařenec byl předehnut, abychom se vyhnuli nutnosti rovnání po svaření, které by bylo velmi komplikované.

Plochy upínek zajišťují rovněž odvod tepla.

Upínky mají být co nejbližší k místu svařování, ale nesmí ztížit přístup svářeči.

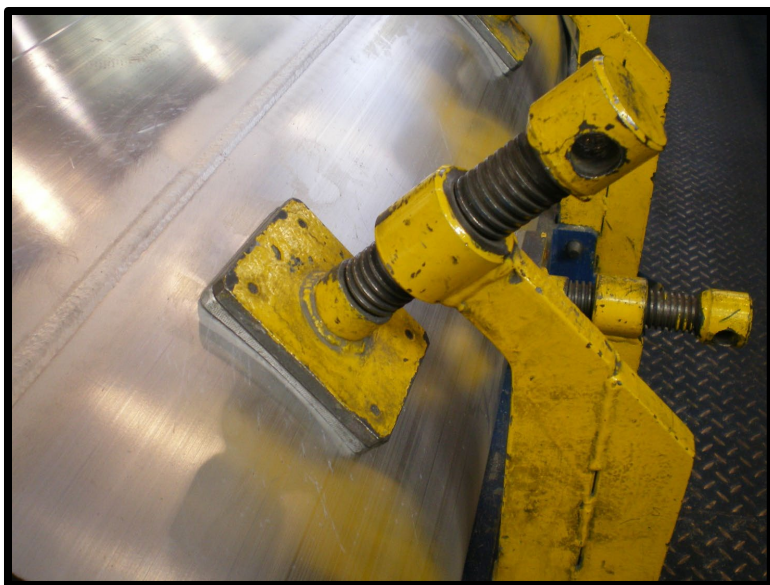


Přípravky musí mít 2x až 3x vyšší tuhost než pro podobné ocelové svařence. To je dáno výrazně vyšší teplotní vodivostí i roztažností než u oceli.

Upínky musí být dostatečně blízko sebe, jinak by se mezi nimi vytvářely vlny.



Stykové plochy upínek musí být z kompatibilního materiálu (hliník, CrNi ocel, dřevo, plast) a musí mít dostatečně velkou plochu a přizpůsobený tvar, aby se neprolisovaly do materiálu svařence.

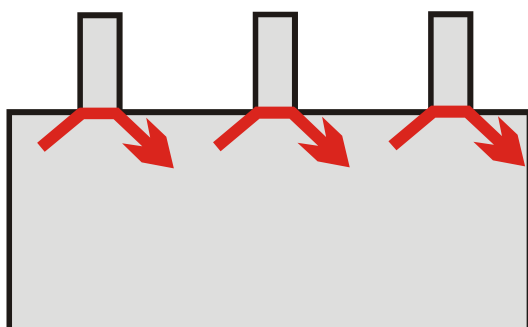


Při malých plochách upínek dochází k prolisu do materiálu. Oprava takto poškozených stěn dutých profilů není snadná.



Provedení krátkých svarů

Začátek a konec svaru na základním materiálu mimo svar. Po svaření možno přebytečný svarový kov odbrousit.



Předehřev a interpass

Předehřev se používá z následujících důvodů:

- ☐ pro odstranění vlhkosti před svařováním, např. při svařování na montáži, ale pozor, teplo a vlhko znamená enormní nárůst oxidické vrstvy;
- ☐ pro zabránění vzniku vad souvisejících se studenými starty, jenže úplně studenému spoji na začátku svařování nezabrání;
- ☐ pro dosažení tepelné rovnováhy při svařování dílů značně odlišných tloušťek;
- ☐ pro zmenšení vlivu nadměrného ochlazování při svařování dílů velké tloušťky, bez předehřevu by bylo ochlazování tak intenzivní, že by roztavení svarových ploch bylo problematické. Předehřev je vyžadován od tl. 8 mm.

Teplota předehřevu se volí zpravidla 80 – 120 °C, ne více, kvůli potřebě následného rychlého ochlazení TOO po svaření.

Interpass max. 120 °C.

U slitin 7xxx je to 100 °C předehřev a 80 °C interpass.

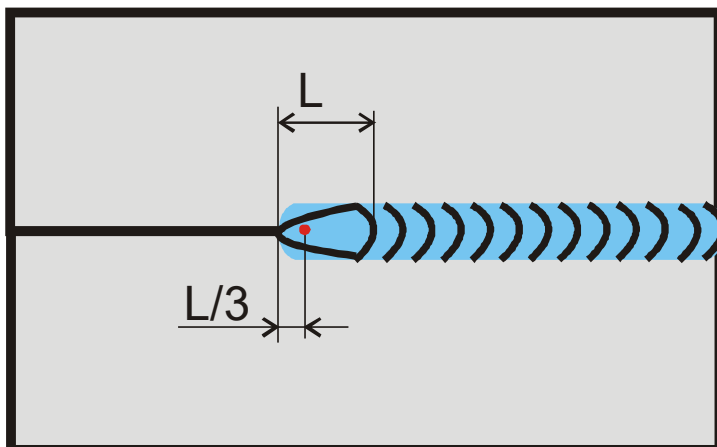
Teplota interpass se kontroluje z následujících důvodů:

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

Rychlost svařování

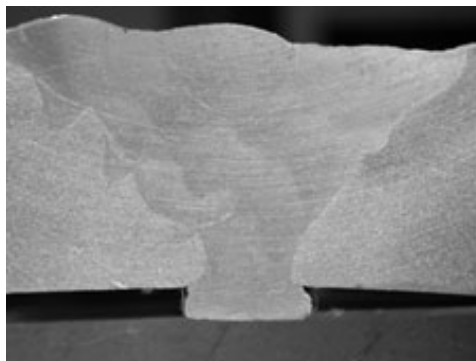
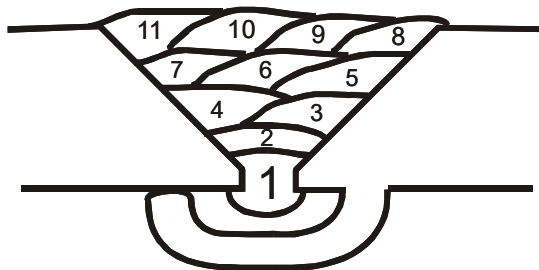
Rychlost svařování má velký vliv na výslednou kvalitu svarového spoje. Velmi rychlé svařování způsobuje studené spoje, popř. i trhání svarové housenky. Velmi pomalé svařování způsobuje předbíhání svarové lázně. Rychlost svařování je nutno přizpůsobit nastaveným parametrům.

Elektrický oblouk se má pohybovat v první třetině roztavené lázně. Pokud trochu zpomalíme, předběhne lázeň. Pokud trochu zrychlíme, propálíme díru. Toto vyžaduje u svářeče cvik, dobrý zrak a umění sledovat lázeň.



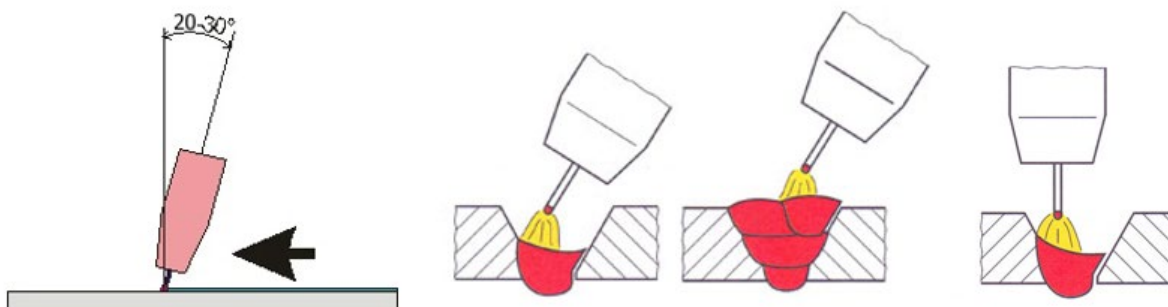
Postup kladení svarových housenek

Lepší je více tenkých svarových vrstev než méně velkých vrstev. V opačném případě je riziko předbíhání svarové lázně před oblouk, vzniku studených spojů a trhlin.



Sklon hořáku

Pro výslednou kvalitu svarového spoje má významný vliv sklon hořáku. Špatný sklon má za následek porézní svar, tvorbu plynových kanálů, špatný průvar a špatnou plynovou ochranu (čistící efekt). Hořák je nutno držet s velmi mírným sklonem (20° , max. 30°) ve směru svařování.



Parametry svařování

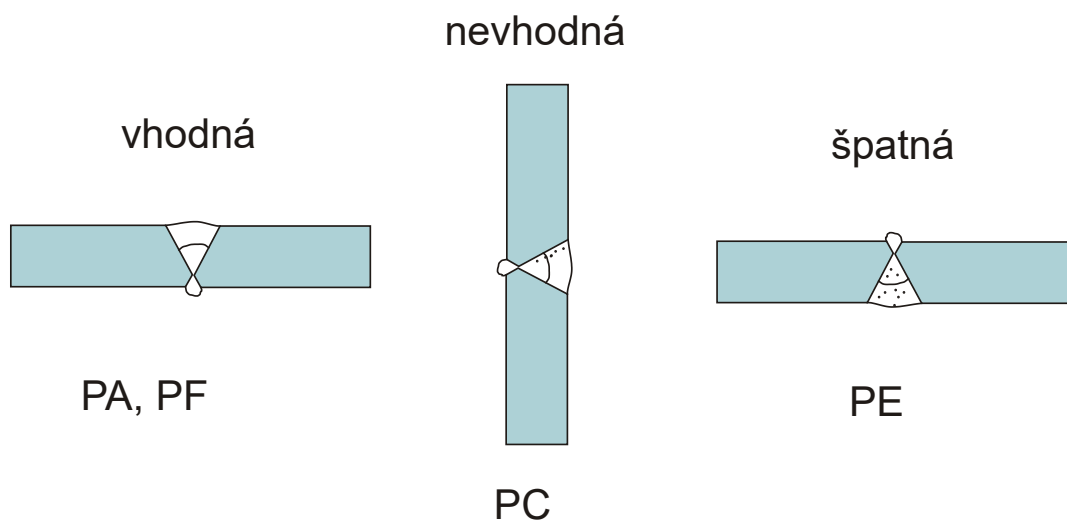
Svařovací proud nastavit cca 40 A na 1 mm tloušťky stěny jako výchozí hodnotu k jemným úpravám. U větších tlouštěk velikost proudu nepřehánět, v závislosti na průměru drátu je limitem max. proudové zatížení uváděné v katalogovém listu pro daný drát. Tento limit nesmí být překročen.

Frekvenci pulsu nastavit tak, aby se během svařování ozývalo nepravidelné praskání v oblouku, tj. cca 150–200 Hz. Frekvence pulzu má vliv na délku a šířku oblouku, s rostoucí frekvencí roste i délka a šířka oblouku.

Délka oblouku by se v závislosti na svařované tloušťce měla pohybovat mezi 3-5 mm. Zbytečně dlouhý oblouk je bohužel i široký, a i při vysokém svařovacím proudu je měkký pro dokonalé tavení svarových ploch, naopak zbytečně vytváří velmi širokou tepelně ovlivněnou zónu a je zde riziko utavení napájecího průvlaku.

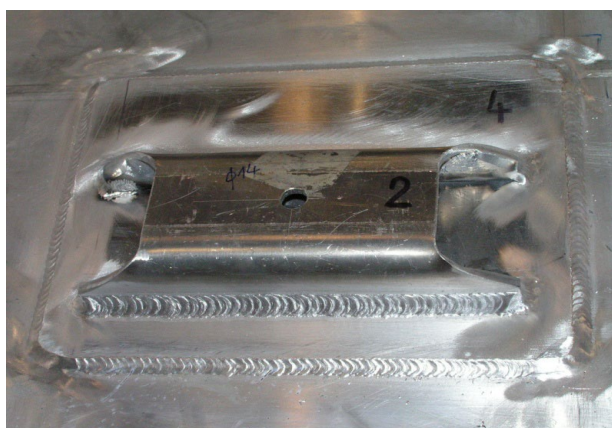
Polohy svařování

Hliník lze svařovat v libovolné poloze, ale některé polohy se nedoporučují kvůli většímu výskytu vad ve svarech. Vliv polohy svařování na rozložení pórů. Proto dáváme přednost svařování v příznivých polohách PA, PB, PF. Poloha PG je jediná, která se u hliníku vůbec nedoporučuje.



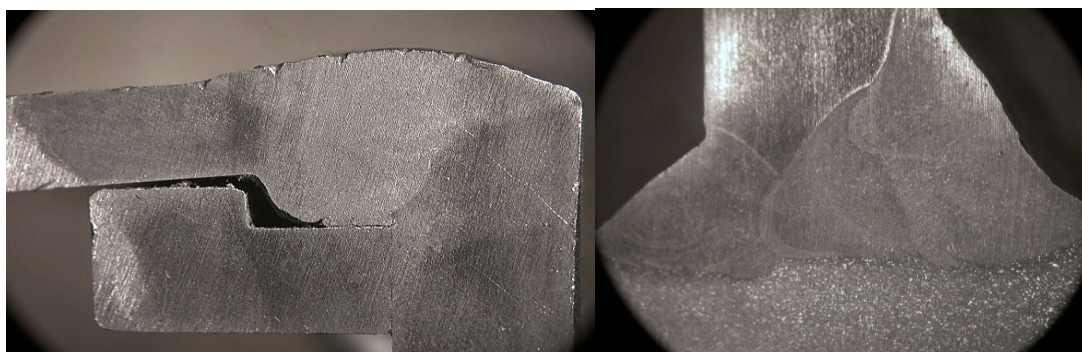
Navařované díly

Velmi časté jsou na hliníkových konstrukcích navařované díly, které nejsou na parádu, ale musí něco unést. Z důvodu přenosu sil je nutno, aby navařené díly byly na tužší základně.



Kvalita svarů

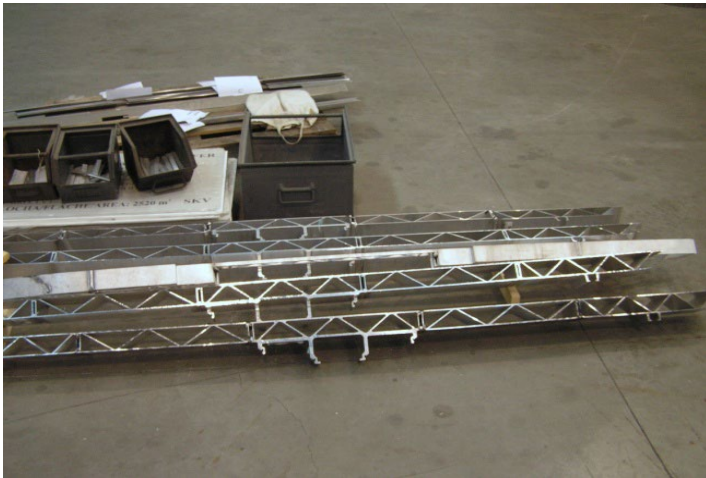
Dodržením všeho předchozího dostaneme kvalitní svar bez dutin, vměstků, trhlin, neprůvarů, studených spojů, přehřátí i povrchových vad.



Kontrola kvality automatového svařování

Je vhodné dlouhé profily svařovat s přídavkem, z čehož získáme tři výhody:

- ☐ Po odříznutí přídavek dostaneme přesnou délku svařence.
- ☐ Špatné začátky a konce svarů zůstanou v odpadech.
- ☐ Možnost zkontrolovat kvalitu a provaření svarů pomocí makrovýbrusů.

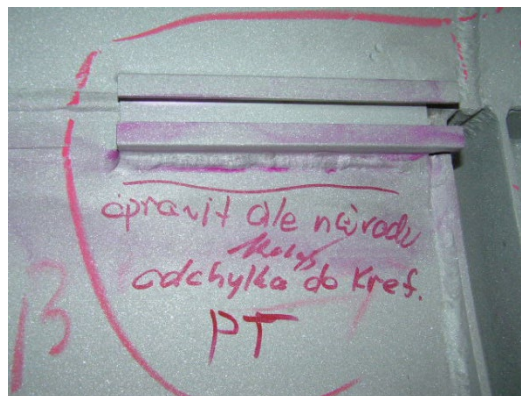


Kapilární zkoušky

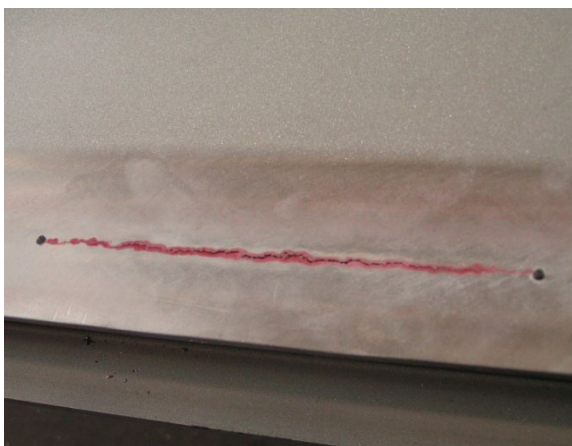
PT je velmi spolehlivá metoda pro kontrolu povrchových vad u hliníkových svarů.



Vyhovující výsledek PT zkoušky



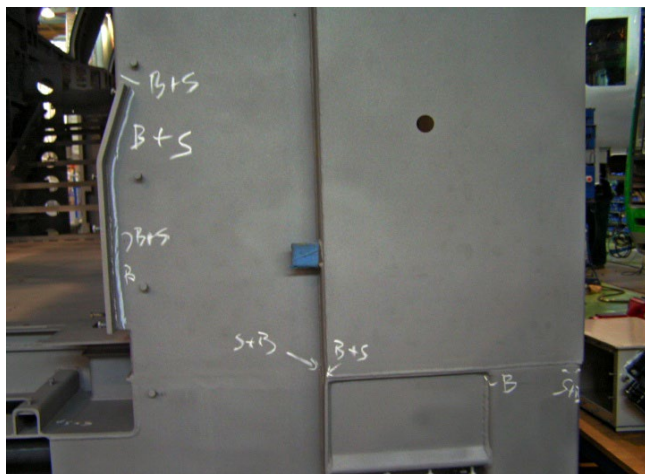
Nalezena indikace studeného spoje na okraji svaru



Kapilární zkouškou detekovaná trhlina. Před jejím odstraněním nutno konce trhliny odvrtat.

Vizuální kontrola

Pro hodnocení nalezených vad při vizuální kontrole svarů používáme normu EN ISO 10042, která se používá úplně stejně jako norma EN ISO 5817 pro svary na ocelových konstrukcích. Vady svarů jsou rovněž klasifikovány stejně jako u ocelí podle normy EN ISO 6520-1.



Co není svařené se nemusí opravovat. Výsledek vizuální kontroly svarů

Závěr

Obsah příspěvku samozřejmě nemůže obsahovat všechna úskalí při svařování hliníkových slitin, ale jako dobrá pomůcka pro základní orientaci pro úspěšný začátek a vyvarování se zbytečných chyb může postačovat.

Problematika svařování hliníkových slitin je mnohem širší nejen z hlediska vlastního provádění svarů, ale také z hlediska výrazných změn mechanických vlastností svarových spojů při svařování, které je velmi důležité mít na zřeteli a věnovat jim velkou pozornost.